

Zur Wirkung ausgewählter Fahrerinformationssysteme auf die Verkehrssicherheit

Von der
Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades eines
Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

von
Karsten Heinig
geboren am 16.06.1975
aus Kronberg/Ts.

Eingereicht am	9. April 2009
Disputation am	18. Dezember 2009

Berichterstatter	Prof. Dr.-Ing. B. Friedrich Prof. Dr.-Ing. R. Hoyer
------------------	--

Zusammenfassung

Die Zahl der heute im Straßenverkehr Verletzten und Getöteten ist trotz erfolgreicher Anstrengungen der letzten Jahrzehnte seitens der Infrastrukturbetreiber und der Fahrzeughersteller nach wie vor nicht hinnehmbar. Eine große Zahl an Unfällen resultiert aus nicht angepasster Geschwindigkeit, teilweise mit einer gleichzeitigen Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und geschieht an bereits bekannten, lokal begrenzten Unfallhäufungsstellen.

Zur Reduktion sowohl der mittleren Geschwindigkeit, als auch der jeweiligen Fahrgeschwindigkeit des einzelnen Fahrzeugs werden seit einigen Jahren Systeme entwickelt und untersucht, die den Fahrer über die aktuell zulässige Höchstgeschwindigkeit informieren und bei ihrer Überschreitung warnen. Diese Systeme sind unter dem Namen Intelligent Speed Adaptation – ISA bekannt. Zur Wirkung dieser Systeme liegen Veröffentlichungen aus dem Europäischen und Außereuropäischen Ausland vor, bislang wurde aber keine entsprechende Analyse mit deutschen Fahrern auf deutschen Straßen durchgeführt. Die vorliegende Arbeit holt dies nach, in dem zunächst die „Speed Limit Warning“ (SLW) – ein ISA-ähnliches System – entwickelt und die Implementierung in ein Versuchsfahrzeug integriert wurde. Die Implementierung der Speed Limit Warning informiert den Fahrer kontinuierlich über die aktuelle zulässige Höchstgeschwindigkeit und warnt ihn in zwei Stufen bei einer Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit um mehr als $6 \frac{km}{h}$, bzw. bei einer bußgeldrelevanten Überschreitung um mehr als $20 \frac{km}{h}$. Als Datengrundlage dient eine digitale Straßenkarte, in der die Geschwindigkeitsbeschränkungen für die vorher identifizierte Teststrecke eingepflegt wurden.

Zur Vermeidung von Unfällen, die an Unfallhäufungsstellen geschehen, wurde ein „Hot Spot Warning“ genanntes System entwickelt, das den Fahrer fahrsituationsabhängig an entsprechenden Stellen im Straßennetz warnt. Dazu wurden Daten von 700.000 Einzelunfällen des Landes Niedersachsen aus den Jahren 2001 bis 2004 analysiert und die auf der Teststrecke liegenden entsprechenden Unfallhäufungsstellen in der digitalen Karte im System hinterlegt. Bei einer ausreichenden Übereinstimmung der aktuellen Fahrsituation mit vorher festgelegten Risikoparametern (Geschwindigkeit, Witterungs- und Lichtverhältnisse) wird der Fahrer optisch und akustisch gewarnt.

Die Analyse der Wirkungen erfolgte durch Testfahrten in einem Mit-Ohne-Vergleich mit 64 Testpersonen, die eine festgelegte Teststrecke auf öffentlichen Straßen im normalen Straßen-

verkehr befahren. Indikatoren, aus denen Rückschlüsse auf potenzielle Veränderungen der Verkehrssicherheit, sowie die kognitive Arbeitsbelastung und visuelle Ablenkung zulassen, wurden während der Fahrten kontinuierlich vom Fahrzeug CAN-BUS aufgezeichnet und zusammen mit fragebogenbasierten Werten zur Brauchbarkeit und Zufriedenstellung der Probanden vor und nach den Testfahrten ausgewertet.

Die Speed Limit Warning führte bezogen auf die gesamte Testfahrt zu einer signifikanten mittleren Reduktion der Geschwindigkeit von $3,07 \frac{km}{h}$, sowie zu einer signifikant geringeren Anzahl und kürzeren Dauer bußgeldrelevanter Geschwindigkeitsüberschreitungen. Die Nutzerakzeptanz der Speed Limit Warning war ausgesprochen hoch. Im Vergleich zu anderen Untersuchungen wurden sehr hohe Werte für die subjektive Bewertung der Zufriedenstellung der Nutzer und der Brauchbarkeit des Systems erreicht. Signifikante negative Einflüsse der SLW auf die kognitive Arbeitsbelastung der Probanden oder die visuelle Ablenkung konnten nicht festgestellt werden.

Bezogen auf die einzelnen Streckenabschnitte, die sich in ihrer Charakteristik unterschieden, wurden mittlere Geschwindigkeitsreduktionen zwischen $1,93 \frac{km}{h}$ und $5,14 \frac{km}{h}$ ermittelt. Diese Geschwindigkeitsreduktionen lassen sich in potenzielle Abnahmen der Unfallzahlen umrechnen. Bezogen auf das einzelne Fahrzeug können so zwischen 6 % und 16 % aller polizeilich registrierten Unfälle vermieden werden, bezogen auf tödliche Unfälle sogar zwischen 12 % und 29 % Unfälle. Reduziert sich die mittlere Geschwindigkeit des Fahrzeugkollektivs um die ermittelten Werte, können zwischen 9 % und 29 % der Unfälle mit Personenschaden vermieden werden.

Die Hot Spot Warning führte weder zu einer signifikant geringeren mittleren Geschwindigkeit der Probanden, noch zu einer signifikanten Reduktion der Geschwindigkeiten im Gültigkeitsbereich einer Unfallhäufungsstelle. Die subjektive Bewertung der Hot Spot Warning zeigte, dass entsprechende Systeme von den Probanden als hilfreich und wünschenswert betrachtet werden und die Implementierung eine hohe Gebrauchstauglichkeit aufwies. Durch eine Analyse der Gaspedal- und Bremspedalreaktionen der Probanden konnte aber gezeigt werden, dass die Probanden aufmerksamer waren, wenn sie eine Warnung erhielten.

Abstract

Over the past decades considerable efforts have been undertaken to decrease the number of traffic casualties and to mitigate accident consequences. Despite numerous and great achievements gained by road administrations and the automotive industry, the number of casualties is still not acceptable. Many accidents are related to unadapted speed, partly with exceeding the speed limit at the same time and reoccur at accident prone locations.

To reduce the mean speed and local speed of vehicles, driver support systems are currently developed and analysed to inform drivers in their vehicles about the speed limit and to warn them in case they are exceeding the speed limits. These systems are known as „Intelligent Speed Adaptation – ISA“. Studies investigating the impact of those systems have been conducted in most motorised countries in Europa, Australia and America, but such studies have never been undertaken in one of the countries with the strongest vehicle industry in Europe – Germany. Therefore, up to now, it was unclear how German drivers would react to ISA like systems, since they are used to unrestricted speed limits on Autobahnen and a rather high speed limit on rural roads. The study at hand describes the development and implementation of an ISA like system, its integration into a test vehicle and the experiments on German public roads and their results. The developed system, called „Speed Limit Warning“, informs the driver constantly about the current speed limit and issues a warning in two stages when the speed limit is exceeded by $6 \frac{km}{h}$, resp. $20 \frac{km}{h}$. An digital road map provides the necessary data base of speed limits, which had been identified and integrated beforehand.

A second application, the „Hot Spot Warning“, provides warnings to drivers at accident prone locations. This application issues warnings to the driver depending on the location of the vehicle and the accident prone location (the so called „Hot Spot“), the driving speed, as well as weather and light conditions. To identify Hot Spots, about 700.000 accidents in the state of Lower Saxony from 2001 to 2004 have been analysed and stored in the same electronic map as the one used for the Speed Limit Warning application.

To investigate the impacts of both systems on driver behavior and traffic safety, a between subjects design with 64 subjects has been selected to ensure statistically sound results. The subjects drove a predefined sequence of 100 km of public roads during daytime at normal traffic conditions. Indicators enabling the evaluation of potential changes in traffic safety, e. g. speed,

acceleration and brake pedal activations, and workload and distraction related measures have been recorded from the vehicle's CAN-BUS. They are analysed in combination with subjective measures for usefulness, satisfaction and usability.

Overall, the Speed Limit Warning application led to a significant reduction of mean speed between experimental and control group of about $3,07 \frac{km}{h}$, as well as to a significant reduction of quantity and duration of severe speed limit violations. User acceptance was extraordinary high. Compared to other studies, usefulness and satisfaction, as recorded by the van der Laan Scale, was very high, too. No significant impacts on workload and visual distraction of the drivers has been found.

With respect to road characteristics, differences in mean speed between $1,93 \frac{km}{h}$ and $5,14 \frac{km}{h}$ have been recorded. These reductions can be translated into potential changes of accidents. Considering a single vehicle, between 9 % and 16 % of all police recorded accidents can be avoided. Taking only accidents with fatalities into account even 9 % to 29 % of those accidents can be prevented.

No significant effect of the Hot Spot Warning application on mean speed or on local speed at Hot Spots was found. The subjective rating of the Hot Spot Warning application revealed a high appraisal, the system was rated especially useful and desirable. Usability was rated equally high. Driver reactions, as shown by the analysis of accelerator pedal and brake pedal activation, showed an increase in situation awareness, when a warning had been issued.

Abkürzungen und Begriffserklärungen

Nur einmalig benutzte Abkürzungen sowie abweichende Bedeutungen werden ausschließlich im Text erläutert.

ABS	Antiblockiersystem
CAN	Controller Area Network, asynchrones, seriellcs Bussystem für die Vernetzung von Steuergeräten in Automobilen (Robert Bosch GmbH, 1991)
α	Cronbach- α : Gütemaß für die interne Konsistenz eines Fragebogens statistisch: Fehler erster Art beim Hypothesentest
CI	Konfidenzintervall
Δ	Differenz zweier Werte
Dist_NLS	Abstand zum nächsten Speed Limit
DSW	Driver Warning System, Fahrerinformationssystem bestehend aus Speed Limit Warning (SLW) und Hot Spot Warning (HSW)
ESC	Electronic Stability Control
FAS	Fahrerassistenzsystem
FIS	Fahrerinformationssystem
GDF	Geographic Data Format, in der ISO 14825 definiertes Format zur Speicherung digitaler Karten (ISO 14825, 2004)
GIDAS	German In-Depth Accident Study. Kooperationsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. zur Erhebung detaillierter Daten am Unfallort (BASt, 2006)
HMI	Mensch-Maschine-Schnittstelle (engl: Human Machine Interface)
HR_{RnSm}^K	Trefferquote (hit rate) im Peripheren Erkennen in Runde n, Sektion m der Kontrollgruppe
HR_{RnSm}^U	Trefferquote im Peripheren Erkennen in Runde n, Sektion m der Untersuchungsgruppe
HS	Hot Spot; Kartenattribut, das einen Punkt erhöhten Risikos im Straßennetz abbildet
HSW	Hot Spot Warning (vgl. Kapitel 3.4 auf Seite 17)

ISA	Intelligent Speed Adaption; eine Gruppe aktiver Sicherheitssysteme, die den Nutzer über aktuelle Geschwindigkeitsbeschränkungen informieren, bzw. warnen.
K	Kontrollgruppe
MFD-II	Multifunktionsdisplay der Volkswagen AG, dass unter anderem im T5 als zentrales Instrument für Radio und Navigation genutzt wird. In der vorliegenden Studie wurde das MFD-II als Anzeigedisplay für die Informationen und Warnungen des DWS verwendet.
NIAM	Natural language Information Analysis Methodology. Methode zur Modellierung von Objekt-Rollen-Beziehungen.
NSL	Next Speed Limit
PD	Preview Distance
PDT	Peripheral Detection Task, Methode zur Ermittlung optischer und kognitiver Ablenkung (vgl. Abschnitt 4.5.1 auf Seite 43).
ppm	parts per million, $1ppm = 10^{-6}$
PSL	Previous Speed Limit
r	Korrelationskoeffizient, der als Effektgröße verwendet wird, vgl. Tabelle 7.1 auf Seite 75
RT_{RnSm}^K	Reaktionszeit (reaction time) im Peripheren Erkennen in Runde n, Sektion m der Kontrollgruppe
RT_{RnSm}^U	Reaktionszeit im Peripheren Erkennen in Runde n, Sektion m der Untersuchungsgruppe
SAT	Kennwert für die Zufriedenstellung (Satisfaction) eines Nutzers bei der Benutzung eines Systems, ermittelt nach Van der Laan u. a. (1997)
SL	Speed Limit; Kartenattribut, das eine Geschwindigkeitsbeschränkung abbildet.
SLW	Speed Limit Warning (vgl. Kapitel 3.3 auf Seite 14)
SUS	System Usability Scale, nach Brooke (1996) berechnete Kenngröße zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit (vgl. Abschnitt 4.5.4 auf Seite 47).
SWRR	Lenkwinkelumkehrrate (Steering Wheel Reversal Rate)
$SWRR_{RnSm}^U$	Lenkwinkelumkehrrate in Runde n, Sektion m der Untersuchungsgruppe
TS	Teilstrecke des Untersuchungsstrecke, vgl. Abschnitt B auf Seite 191
U	Untersuchungsgruppe
USE	Kennwert für die Brauchbarkeit (Usefulness) eines Systems, ermittelt nach Van der Laan u. a. (1997)

v	Geschwindigkeit
v_{AO}	Geschwindigkeit außerorts
v_{IO}	Geschwindigkeit innerorts
v_{Zul}	zulässige Höchstgeschwindigkeit
\bar{v}_{RnSm}^K	Mittlere Geschwindigkeit in Runde n, Sektion m der Kontrollgruppe
\bar{v}_{RnSm}^U	Mittlere Geschwindigkeit in Runde n, Sektion m der Untersuchungsgruppe

Inhaltsverzeichnis

1. Motivation	1
2. Stand der Technik	5
2.1. Intelligent Speed Adaptation	5
2.2. Warnung vor Unfallhäufungsstellen	6
3. Systembeschreibung	11
3.1. Funktion	11
3.2. Navigation und digitale Karten	12
3.3. Speed Limit Warning	14
3.4. Hot Spot Warning	17
3.5. Mensch-Maschine-Schnittstelle	26
4. Entwicklung der Bewertungsmethodik	29
4.1. Grundüberlegungen	29
4.2. Nutzerorientierte Analysen	31
4.3. Forschungsfragen zum Einfluss des DWS auf die Verkehrssicherheit	36
4.4. Hypothesen und Indikatoren zum Fahrverhalten	37
4.5. Hypothesen und Indikatoren zur Gebrauchstauglichkeit	38
4.6. Untersuchungsdesign und Statistik	49
4.7. Zusammenfassung der zu testenden Hypothesen und Indikatoren	51
5. Versuchsträger	53
5.1. Trägerfahrzeug	53
5.2. Einbauten und Datenerfassung	54
6. Aufbau der Untersuchungen	63
6.1. Voruntersuchungen	63
6.2. Kriterien für die Probandenauswahl und den Stichprobenumfang	65

6.3. Teststrecke	67
7. Ergebnisse	73
7.1. Probandenrekrutierung und Gruppenzusammensetzung	76
7.2. Subjektive Bewertungen	78
7.3. Klassifizierung der Probanden für weitere Untersuchungen	89
7.4. Geschwindigkeiten	89
7.5. Lokale Geschwindigkeiten in Sektion 2	96
7.6. Geschwindigkeitsüberschreitungen	99
7.7. Peripheres Erkennen	110
7.8. Lenkwinkelumkehrrate	114
7.9. Zusammenfassung der Ergebnisse	119
8. Diskussion	123
8.1. Überblick	123
8.2. Subjektive Bewertungen	124
8.3. Arbeitsbelastung und visuelle Ablenkung	126
8.4. Geschwindigkeiten und Geschwindigkeitsüberschreitungen	128
8.5. Bewertung der Systeme	131
8.6. Fazit	137
Literaturverzeichnis	139
Abbildungsverzeichnis	157
Tabellenverzeichnis	169
Anhang	175
A. Driver Warning System	175
A.1. Datensatzbeschreibung Unfalldaten	175
A.2. Algorithmen	179
B. Teststrecke	191
B.1. Lage und Eigenschaften der Teilstrecken	191
C. Probanden	197

D. Verwendete Fragebogen	199
D.1. Erhebung biographischer Daten	200
D.2. Erhebungen vor Antritt der Fahrt	204
D.3. Erhebungen nach Fahrt mit Driver Warning System	208
E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung	213
E.1. Speed Limit Warning	213
E.2. Hot Spot Warning	229
F. Auswertung der Fragebogen zur Gebrauchstauglichkeit	245
G. Mittlere Geschwindigkeiten	257
H. Geschwindigkeitsüberschreitungen	267
I. Peripheres Erkennen	287
J. Lenkwinkelumkehraten	301
J.1. Voraussetzungstests	301

1. Motivation

Im Jahr 2006 starben in Europa etwa 43.000 Personen an den Folgen von Straßenverkehrsunfällen. Diese hohe Zahl wurde trotz umfangreicher und erfolgreicher Maßnahmen zur Vermeidung von Unfällen und zur Milderung der Unfallfolgen erreicht, die in den vergangenen Jahrzehnten die Zahl der jährlichen Unfallopfer drastisch reduzieren konnten. Allein zwischen 1995 und 2006 konnte die Mortalitätsrate in Deutschland von 116 ppm auf 62 ppm nahezu halbiert werden (vgl. Abb. 1.1). Dennoch wurden beispielsweise allein in Deutschland im Jahr 2006 bei Straßenverkehrsunfällen immer noch 5091 Personen getötet und 347 835 Personen schwer verletzt (Statistisches Bundesamt, 2007). Diese Zahl ist trotz der beachtlichen Erfolge bei der Reduktion der Unfallopfer nach wie vor nicht hinnehmbar. Aus diesem Grund hat die Europäische Kommission im Jahr 2001 ihr White Paper veröffentlicht, in dem sie das Ziel festschreibt, die Zahl der im Straßenverkehr Getöteten von 2001 bis 2010 erneut zu halbieren (EC, 2001).

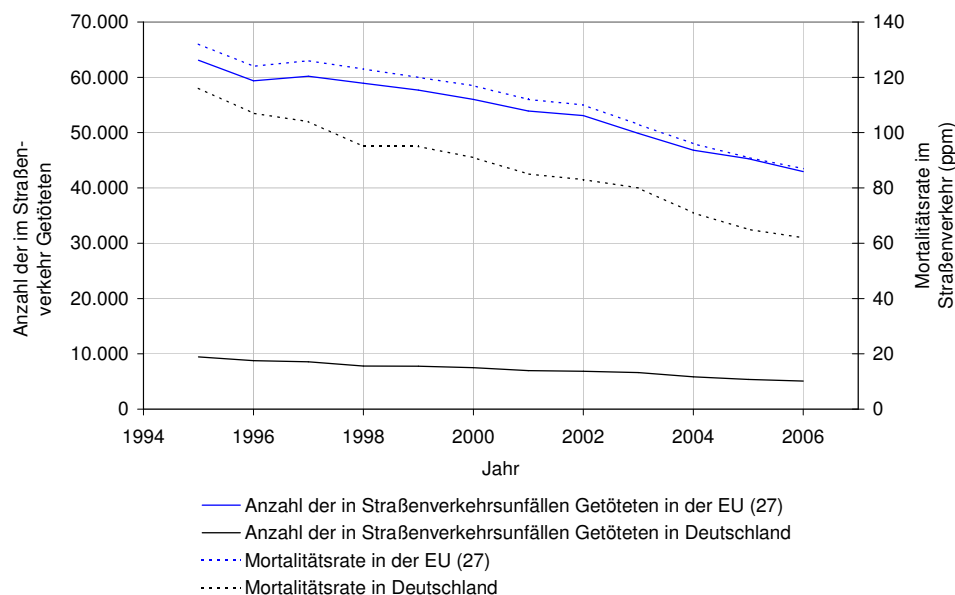


Abbildung 1.1.: Anzahl der im Straßenverkehr Getöteten und Mortalitätsrate (Getötete je 1 Mio. Einwohner) in Europa und Deutschland von 1995 bis 2006 (Eurostat, 2008).

Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit können an den drei Einflussfaktoren Fahrer - Fahrzeug - Infrastruktur ansetzen. Dazu gehören eine verbesserte Ausbildung der Fahrer und der am Straßenverkehr Beteiligten, Verbesserungen der Infrastruktur – etwa durch die Beseitigung unfallträchtiger Stellen – oder die Verbesserung der passiven Sicherheit im Fahrzeug durch Insassen- und Fußgängerschutzsysteme. Außerdem hat sich in den vergangenen Jahren das Fahrzeug immer mehr von einer rein durch den Fahrer geregelten Maschine hin zu einem aktiven Regler entwickelt. Die in immer größerem Umfang im Fahrzeug zur Verfügung stehende Elektronik ermöglichte es, dass das Fahrzeug aktiv auf Fahrsituationen oder Infrastruktur reagiert, in dem beispielsweise durch ABS (Antiblockiersystem) oder ESC (Electronic Stability Control) Fehler der Fahrer oder widrige Infrastrukturbedingungen kompensiert werden. Solche Unterstützungssysteme waren in der Vergangenheit nahezu völlig auf die unmittelbare Fahrsituation beschränkt, weil der Wahrnehmungshorizont der entsprechenden Sensorik sehr beschränkt war. Weiterentwicklungen im Bereich von Ultraschall, Radar- und Lasersensoren ermöglichen es, das engere und weitere Umfeld des Fahrzeugs wahrzunehmen und mit entsprechenden Reglern darauf zu reagieren und dem Fahrer bei der Erfüllung seiner Fahraufgabe zu assistieren.

Die Assistenzstrategien solcher Systeme können von informierend bis agierend reichen (vgl. Abb. 1.2 auf der nächsten Seite). Bei einem rein informierenden System (Fahrerinformationssystem – FIS) behält der Fahrer vollständig die Kontrolle über das Fahrzeug, er kann selbst entscheiden, wie er auf aktuelle Fahrsituationen reagiert und ob er die Informationen bzw. die Warnungen des Informationssystems in seine Handlungsentscheidung mit einbezieht. Agierende Systeme (Fahrerassistenzsysteme – FAS) dagegen übernehmen die Kontrolle über Teilsysteme im Fahrzeug, so dass der Fahrer keinen Einfluss mehr darauf hat, wie sich dieses Teilsystem verhält. Informierende Systeme sind beispielsweise Einparkassistenten aber auch Navigationssysteme, während ABS und ESC als klassische Beispiele agierender Systeme gelten. Zwischen FIS und FAS gibt es auch Mischformen, die den Fahrer sowohl informieren, als auch selbst durch entsprechende Aktuatorik in der Lage sind, zu agieren. Zu dieser Mischform gehören beispielsweise Spurhalteassistenten.

Seitens der Infrastruktur sind die Straßenbaulasträger bemüht, die Verkehrssicherheit durch bauliche oder betriebliche Maßnahmen zu verbessern und Unfälle zu vermeiden, bzw. die Infrastruktur so auszubilden, dass die Konsequenzen von Fahrfehlern gemildert werden. In den skandinavischen Ländern verfolgen die zuständigen Behörden beispielsweise eine "Vision Zero" genannte Strategie (Færdselssikkerhedskommissionen, 2000; Rosencrantz u. a., 2007; Statens Vegvesen, 2006; Vägverket, 2006), die auf die totale Vermeidung von Verkehrsunfalltoten abzielt.

Zur lokalen, ortsbezogenen infrastrukturellen Vermeidung von Unfällen müssen zunächst Unfallhäufungsstellen identifiziert werden. In Deutschland wird die entsprechende Grundlage durch

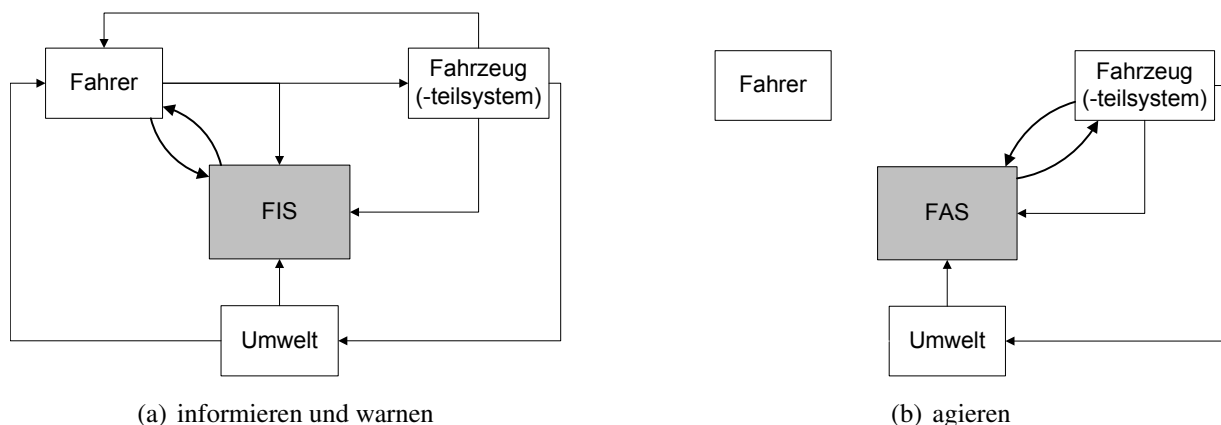


Abbildung 1.2.: Einfluss der Assistenzstrategie eines Fahrerinformations-/ Fahrerassistenzsystems auf den Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Umwelt.

die von der Polizei aufgenommenen Daten zu Verkehrsunfällen gebildet. Die Erfassung und Verwendung dieser Daten ist durch das Straßenverkehrsunfallstatistikgesetz (StVUnfStatG, 1990) geregelt. In der Regel werden diese Daten in Datenbanken vorgehalten und von den zuständigen Polizeidienststellen über die statistischen Landesämter an das Statistische Bundesamt gemeldet. Die aufgenommenen Daten dienen auch zur Identifizierung kritischer, unfallträchtiger Stellen im Straßennetz. Den Straßenbaulastträgern stehen die Unfallkommissionen der Länder und Landkreise bzw. kreisfreien Städte beratend zur Seite, in dem sie Maßnahmen zur Beseitigung der Unfallhäufungsstellen empfehlen. Da sowohl die Lage der Unfallhäufungsstellen bekannt ist und weitergehende Informationen zu Unfallhergang und Unfallursache verfügbar sind, liegt es nahe, diese Daten einer weiteren Nutzung zuzuführen. Eine solche Nutzung kann die Verwendung in einem fahrzeugseitigen Fahrerinformationssystem sein, das den Nutzer ortsbezogen situationsabhängig an den entsprechenden Stellen warnt. Die Entwicklung, aber vor allem die Bewertung des Einflusses eines solchen Systems auf die Verkehrssicherheit und damit die Bewertung der Sinnhaftigkeit eines solchen Systems ist Gegenstand eines Teils der vorliegenden Untersuchung.

Eine wesentliche Unfallursache ist nicht angepasste Geschwindigkeit. In 14,8 % (59 912 von 403 886 Fällen) der Fehler der Fahrzeugführer bei Unfällen mit Personenschaden bzw. in 31,3 % der Fehler (2006 von 6406 Fällen) bei Unfällen mit Todesfolge wird unangepasste Geschwindigkeit genannt, während immer noch 1,2 % (4 830 von 403 886 Fällen) der Fehler der Fahrzeugführer bei Unfällen mit Personenschaden und 6,3 % der Fehler der Fahrzeugführer (406 von 6406 Fällen) bei Unfällen mit Todesfolge unangepasste Geschwindigkeit mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sind (Statistisches Bundesamt, 2007, Tab. 6.1). Eine Reduktion dieser Überschreitungen muss demzufolge zu einer Abnahme der Unfälle, bzw.

zu einer Milderung der Unfallfolgen führen. Um dies zu erreichen, können unterschiedliche Wege verfolgt werden. Eine Möglichkeit ist, den Fahrer kontinuierlich in seinem Fahrzeug über die aktuell zulässige Höchstgeschwindigkeit zu informieren und ihn insbesondere bei einer Überschreitung dieser Höchstgeschwindigkeit zu warnen. Solche Systeme sind als Intelligent Speed Adaptation (ISA) in unterschiedlichen Implementierungen bekannt.

Zur Entwicklung und Wirkung entsprechender Systeme liegen umfangreiche Veröffentlichungen vor, die sich in der Beschreibung der Wirkungen teilweise erheblich unterscheiden (z. B. Adell und Varhelyi, 2008; Biding und Lind, 2002; Brookhuis und de Waard, 1999; Carsten und Tate, 2005; Comte, 2001; Department of Technology and Society LTH Lund University, 2005; Driscoll u. a., 2007; Ebersbach, 2004; Hjalmdahl u. a., 2002; Hjalmdahl und Varhelyi, 2004a,b; Jamson, 2006; Liu und Tate, 2004; Marchau u. a., 2005; Nilsson und Anderson, 1997; Pääta-lo u. a., 2001; Varhelyi, 2002; Varhelyi u. a., 2004, 2002; Varhelyi und Mäkinen, 1998, 2001; Vägverket, 2002; Vlassenroot u. a., 2007; Warner und Åberg, 2008, zur Diskussion der Ergebnisse vergleiche Kapitel 8). Darunter findet sich jedoch keine Veröffentlichung, die die Wirkung entsprechender Systeme auf Autofahrer in Deutschland untersucht. Daher ist derzeit unklar, ob sich die Ergebnisse der genannten Untersuchungen übertragen lassen und welche Wirkungen sich bei deutschen Straßen- und Nutzerverhältnissen ergeben. Daher werden in einem zweiten Teil der vorliegenden Untersuchung die Wirkungen eines ISA-ähnlichen Systems bewertet und hinsichtlich von Verkehrssicherheitsaspekten quantifiziert.

2. Stand der Technik

2.1. Intelligent Speed Adaptation

Der Begriff „Intelligent Speed Adaptation – ISA“ beschreibt eine Gruppe von Systemen, die Fahrer über die aktuelle Geschwindigkeitsbeschränkung informieren und ihn bei einer Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit warnen oder eine solche Überschreitung durch einen regelnden Eingriff in das Fahrzeug unterbinden. ISA Systeme werden bereits seit einigen Jahren prototypisch entwickelt und untersucht, wobei einige Systeme auch bereits am Markt erhältlich sind. Aus den unterschiedlichen Implementierungen haben sich zwei wesentliche Gruppen ausgebildet: Informierende bzw. unterstützende Systeme und regelnde Systeme.

Die erste Gruppe der Systeme kann den Fahrerinformationssystemen zugeordnet werden. Das ISA-System informiert den Fahrer optisch über die aktuelle Geschwindigkeitsbeschränkung beispielsweise durch die Anzeige eines entsprechenden Piktogramms auf einem Display (Adell u. a., 2008; Brookhuis und de Waard, 1999) und warnt optisch oder zusätzlich akustisch bei einer Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (Päätaalo u. a., 2001). Andere informierende Systeme nutzen haptische Signale zur Informationsübertragung. Dazu wird beispielsweise ein steigender Gegendruck im Gaspedal erzeugt, je mehr sich die Geschwindigkeit des Fahrzeugs der gerade gültigen zulässigen Höchstgeschwindigkeit nähert. Diese Systeme sind als „Active Accelerator Pedal“ bekannt (Adell und Varhelyi, 2008; Hjalmdahl u. a., 2002; Hjalmdahl und Varhelyi, 2004a; Varhelyi u. a., 2004, 2002).

ISA-Implementierungen, die die Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit durch regelnde Eingriffe unterbinden, sind als Fahrerassistenzsysteme klassifiziert. Sie limitieren beispielsweise die Kraftstoffmasse oder nutzen die Fahrzeugbremsen, um die zulässige Höchstgeschwindigkeit einzuhalten. Diese Systeme sind in der Regel mit einer Option ausgestattet, die es dem Fahrer ermöglicht, die Regelung des Systems zu umgehen und so die zulässige Höchstgeschwindigkeit zu überschreiten (Carsten und Fowkes, 2003). Untersuchungen entsprechender Systeme zeigen, dass regelnde Systeme die geringste Nutzerakzeptanz und rein informierende Systeme die höchste Nutzerakzeptanz genießen (z. B. Rook und Hogema, 2005).

Die meisten der derzeit bekannten Systeme bestimmen die zulässige Höchstgeschwindigkeit

anhand der aktuellen Position des Fahrzeugs und den in einer digitalen Karte hinterlegten Informationen zu den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, während neuere Entwicklungen mit einer automatischen Erfassung der Beschilderung arbeiten.

2.2. Warnung vor Unfallhäufungsstellen

Dynamische Warnungen vor Unfallhäufungsstellen im Fahrzeug sollen den Fahrer informieren und warnen, wenn er sich einer Unfallhäufungsstelle im Straßennetz nähert. Bislang sind drei solche Systeme bekannt, die unterschiedliche Strategien haben, den Fahrer zu warnen. Die beiden ersten Systeme sind einfache Implementierungen (Roncalli und Road Angel) die den den Nutzer immer dann warnen, wenn er sich im Bereich einer Unfallhäufungsstelle befindet, bzw. sich ihr nähert. Eine Abhängigkeit von der aktuellen Fahrsituation ist bei diesen Systemen nicht gegeben. Die dritte bekannte Implementierung – SafeMAP – soll anhand der aktuellen Fahrsituation relevante Warnungen ausgeben. Sie hat damit das Potenzial, eine wirklich dynamische Unfallhäufungsstellenwarnung auszugeben. Untersuchungen zur Wirksamkeit von Roncalli und RoadAngel liegen bislang nicht vor.

RONCALLI

RONCALLI und RONCALLI_I2 (Maurer u. a., 2005; Roncalli-Konsortium, 2006; Spielhofer u. a., 2005) haben das Ziel, eine Informationsplattform für verkehrsrelevante Informationen zu entwickeln und bereitzustellen, da als Ursache für eine geringe Verbreitung verkehrstelematischer Anwendungen der Mangel an verlässlichen und umfassenden Inhalten identifiziert wurde. Kernaufgabe der Projekte ist die Herstellung technischer Rahmenbedingungen für den Austausch relevanter Daten zwischen Informationslieferanten und -nutzern.

Zur Demonstration der entwickelten Systemarchitektur und des Konzepts wurden mehrere Funktionen prototypisch implementiert (vgl. auch Abbildung 2.1 auf der nächsten Seite). Dazu gehört ein ISA-System, Informationen über der Straßenzustand, Warnungen vor sensiblen Bereichen (z. B. Schulen oder Altenheime), sowie ein System, dass vor Gefahren- oder Unfallhäufungsstellen warnt. Informationen zur Wirkung dieser Systeme sind nicht verfügbar.

Road Angel

Sentinel Geo Systems produziert und vertreibt mit dem „Road Angel“ ein auf den australischen und britischen Markt konzentriertes System, dass Fahrzeugführer durch die Anzeige der jeweils zulässigen Höchstgeschwindigkeit und der aktuellen Fahrgeschwindigkeit vor Geschwin-

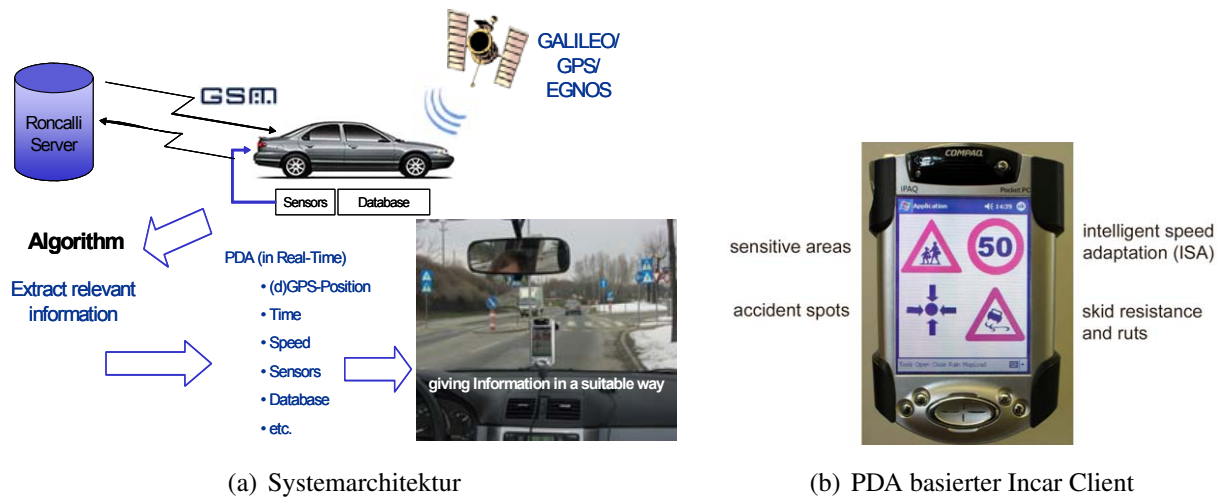


Abbildung 2.1.: Struktur der RONCALLI- und RONCALL_I2-Dienste (Spielhofer u. a., 2005)

digkeitsüberschreitungen, sowie vor sogenannten BlackSpots warnt. Für den britischen Markt ist das System mit einem Sensor für Radaranlagen ausgestattet und warnt so zusätzlich vor stationären und mobile Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen.

Die BlackSpot Funktion des Road Angel beruht auf einer Datenbank, die gefährliche Zonen des Straßennetzes enthält und warnt, wenn das Fahrzeug sich diesen Zonen nähert. Eine Dynamisierung der Funktion ist nicht vorgesehen, so dass der Fahrer unabhängig von der aktuellen Fahrsituation Warnungen erhält. Funktionen zur Ermittlung der wahrscheinlichsten Route des Fahrzeugs oder eine Kopplung mit einer Navigationsfunktion sind ebenfalls nicht vorhanden, so dass auch nicht relevante Warnungen gegeben werden. Dies kann insbesondere in innerstädtischen Gebieten zu störenden Effekten führen, wenn Elemente der gefahrenen Route zwar innerhalb des Warnungsradius von 250 m liegen, aber nicht durch den Gefahrenpunkt verlaufen (vgl. Abb. 2.2 auf der nächsten Seite).

Die Verfahren und Datenquellen, die zur Ermittlung der Blackspots verwendet werden, werden nicht einheitlich beschrieben (vgl. z. B. Sentinel Geo Systems, 2003, 2004, 2006). Für das australische System erfolgt die Datenerfassung durch Feldbegeher, die Auswertung von Daten von Versicherungsgesellschaften, sowie von Autofahrervereinigungen.

Nutzer können im Rahmen eines Abonnementenvertrag kontinuierlich die Datenbasis ihres Road Angel aktualisieren.

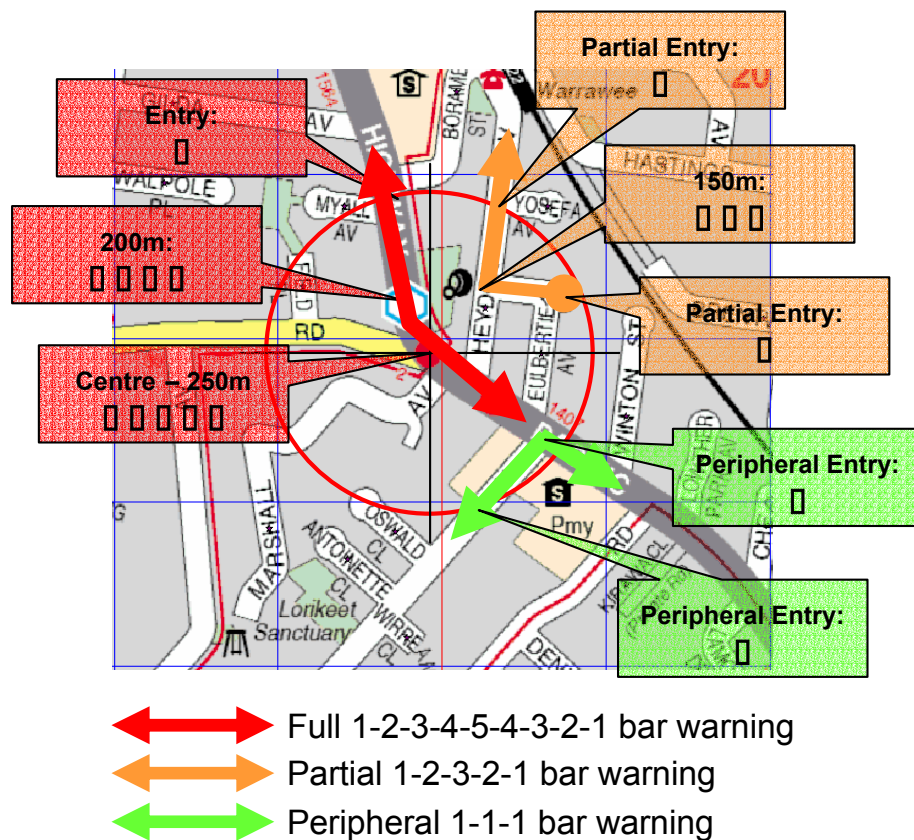


Abbildung 2.2.: Einfluss der Route auf die Warnung durch den „Road Angel“ (Sentinel Geo Systems, 2004). Durch die Balken unter den Positionsangaben wird die Dringlichkeit der Warnung angezeigt, dabei stellen fünf Balken die höchste Warnstufe dar.

SafeMAP

In dem von der Deutsch-Französischen Kooperation auf dem Gebiet der Verkehrsforschung (deufrako) geförderten Forschungsprojekt SafeMAP wurde versucht, eine „sozioökonomische Bewertung einer speziellen digitalen Karte für sicherheitsrelevante Fahrzeugfunktionen“ zu erstellen. Dabei wurden unterschiedliche Anwendungen untersucht, die Informationen aus einer mit sicherheitsrelevanten Attributen ergänzten Karte beziehen.

Die „Frequent Accident Spot Warning“ soll den Fahrer warnen, wenn der Vergleich zwischen der aktuellen Fahrsituation und den bekannten Einflussgrößen von Unfällen, die bereits auf dem entsprechenden Streckenabschnitt geschehen sind, eine hohe Übereinstimmung ergibt. Damit ist die Funktion der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten „Hot Spot Warning“ konzeptionell ähnlich, dennoch bestehen wesentliche Unterschiede. Die „Frequent Accident Spot Warning“ erwartet als Datengrundlage sieben Attribute über jeden einzelnen Unfall, die in der Karte hin-

terlegt sein müssen, darunter z. B. Licht- (hell, dunkel) und Straßenverhältnisse (trocken, naß, Schnee/ Eis), Angaben zu Tageszeit, Jahreszeit und Wochentag, sowie grobe Angaben zur Geschwindigkeit (überhöht, überhöht bei gleichzeitigem Überschreiten des Tempolimits) und zum Alter des Unfallverursachers. Diese Attribute werden online während der Fahrt ausgewertet und mit der aktuellen fahrdynamischen Situation verglichen. Damit ergeben sich hohe Anforderungen hinsichtlich der Rechenzeit und eine hohe Zahl notwendiger Zugriffe auf die digitale Karte, was mit den derzeit oder in naher Zukunft kostengünstigen und serienreifen Plattformen nicht realisierbar sein dürfte.

Die Testfahrten zur Bestimmung der Nutzerakzeptanz und zur Ermittlung der Wirkungen des SAFEMAP Systems wurden auf deutscher Seite im Dezember 2005 durchgeführt. Der Versuchsaufbau sah dabei zwei Hot Spots auf dem Testtrack vor, bei denen entgegen des Anspruchs auf dynamische Warnungen bei jeder Vorbeifahrt ohne Situationsabhängigkeit gewarnt wurde. Ergebnisse dazu wurden bislang nicht veröffentlicht. Sobald eine entsprechende Veröffentlichung vorliegt, muss eine Bewertung der Ergebnisse der SafeMAP Untersuchungen daher vor diesem Hintergrund geschehen.

3. Systembeschreibung

Die folgende Beschreibung der Funktion des Driver Warning System ist bewusst kompakt gehalten, da der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf der Bewertung des beschriebenen Systems und nicht auf dessen Entwicklung selber liegt. Die Aufgabe dieses Kapitels ist es daher, eine kompakte, aber ausreichende Spezifikation des Systems zu geben, so dass die wesentlichen Eigenschaften dargestellt werden und verstanden werden können.

3.1. Funktion

Das Driver Warning System besteht aus den beiden Applikationen "Speed Limit Warning" (SLW) und "Hot Spot Warning" (HSW).

Die SLW informiert den Fahrer ständig über die aktuell gültige zulässige Höchstgeschwindigkeit und warnt bei einer Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Diese Warnung wird in zwei Eskalationsstufen gegeben: Wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit v_{Zul} um mehr als $6 \frac{km}{h}$, aber weniger als $20 \frac{km}{h}$ überschritten, erfolgt eine optische Warnung. Wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit dagegen um mehr als $20 \frac{km}{h}$ überschritten, erfolgt zusätzlich eine einmalige akustische Warnung. Die optische Warnung wird solange gegeben, bis die Fahrzeuggeschwindigkeit wieder unter die zulässige Höchstgeschwindigkeit gefallen ist. Die Grenzen von $6 \frac{km}{h}$ und $20 \frac{km}{h}$ wurden gewählt, weil sie die derzeit nach Straßenverkehrsordnung (StVO, 2007), sowie nach dem Bußgeldkatalog (BKatV, 2007) unter Einbeziehung von messtechnischen Toleranzen gültigen Grenzen für ein Verwarnungs-, bzw. Bußgeld darstellen. Die Information über die zulässige Höchstgeschwindigkeit wird durch die Anzeige eines Zeichen 274 StVO nachempfundenen Symbols gegeben. Die Warnungen erfolgen durch ein Blinken des Symbols, (für $v > v_{Zul} + 6 \frac{km}{h}$) bzw. zusätzlich einmalig akustisch durch einen Warnton (für $v > v_{Zul} + 20 \frac{km}{h}$).

Die Hot Spot Warning ist im Gegensatz zur Speed Limit Warning nicht ständig präsent. Sie warnt in Abhängigkeit von der aktuellen Fahrsituation (Geschwindigkeit, Licht- und Witterungsverhältnisse) optisch und akustisch an unfallträchtigen Stellen oder Streckenabschnitten im Straßennetz, den sogenannten Hot Spots. Sie adressiert Unfälle, die ohne die Einwirkung Dritter

entstehen. Solche Hot Spots wurden zuvor durch eine Analyse entsprechender Unfalldaten identifiziert (vgl. Abschnitt 3.4.1 auf Seite 17). Die Warnung erfolgt akustisch durch einen einzelnen Warnton, sowie optisch durch die Anzeige eines situationsabhängig ausgewählten Symbols, das den Gefahrzeichen der StVO nachempfunden ist. Die optische Warnung bleibt bestehen, bis der Gültigkeitsbereich eines Hot Spots verlassen wird.

Abbildung 3.1 auf der nächsten Seite zeigt den Ablauf des DWS mit seinen sechs Phasen: der Initialisierung mit der Übernahme von System und Nutzereinstellungen aus Konfigurationsdateien, dem Lesen von Fahrzeug- und Kartendaten, die dann jeweils an die Algorithmen der SLW und der HSW übergeben werden, sowie die beiden Algorithmen selbst. Diese vier Phasen aktualisieren jeweils die Logdateien, die Initialisierungsphase, sowie SLW und HSW geben bei Bedarf Meldungen über das HMI (Human Machine Interface, im vorliegenden Fall die optischen und akustischen Informationen bzw. Warnungen) an den Nutzer. Die Algorithmen der SLW und der HSW werden sequentiell bei jeder Änderung der Fahrzeugposition ausgeführt.

3.2. Navigation und digitale Karten

Beide Applikationen basieren auf einem Navigationssystem, das ihnen alle raumbezogenen Informationen über eine standardisierte Schnittstelle (Angenvoort u. a., 2004; Beuk u. a., 2004; Perchina u. a., 2004) zur Verfügung stellt. Dazu gehören die aktuelle geographische Position und die Fahrzeugposition auf einer digitalen Karte sowie Daten zu den auf der Fahrtroute liegenden zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und den Hot Spots. Zusätzliche Informationen werden direkt vom Fahrzeug gelesen, beispielsweise die aktuelle Fahrgeschwindigkeit, die Außentemperatur oder der Status der Scheibenwischer.

Die in dieser Arbeit untersuchten Applikationen sind wie alle navigationsbasierten System wesentlich von der Qualität der Positionsschätzung und der Qualität und Aktualität der verwendeten digitalen Karten abhängig.

Die Positionsschätzung wurde durch Koppelnavigation (GPS-Ortung, Wegstreckenmessung durch pulswidenmoduliertes Geschwindigkeitssignal und Zeit, sowie Drehratensensor) ermittelt und dann auf einer digitalen Karte abgebildet. Zur Genauigkeit der Positionsschätzung wurden keine weitergehenden Untersuchungen durchgeführt, da dies nicht der Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist. Bei den durchgeführten Testfahrten stellte sich die realisierte Ortungsgenauigkeit aber als überwiegend ausreichend heraus.

Elektronischen Karten für Navigationsanwendungen im Kraftfahrzeugbereich werden als Geographic Data Format (GDF) gespeichert. GDF ist ein nicht binäres Standardformat für vektorisierte Kartendaten und ist in der Norm ISO 14825 (2004) definiert. Kartenobjekte werden im

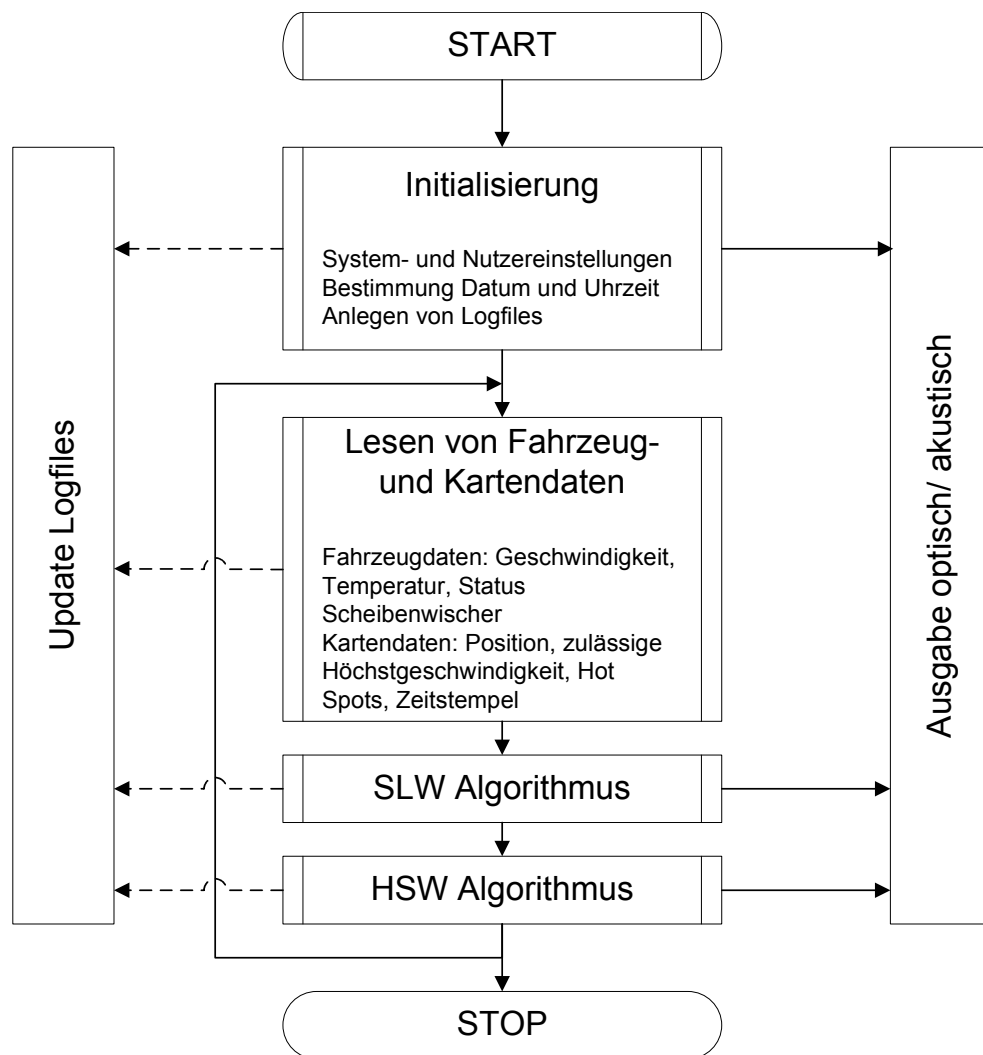


Abbildung 3.1.: Programmablauf im DWS mit den beiden Applikationen HSW und SLW.

GDF in drei Ebenen abgelegt. Level 0 beschreibt Topologie und Geometrie von Kartenobjekten als Punkte (Nodes), Linien (Edges) oder Flächen (Faces), wobei Linien aus Nodes und Shapepoints gebildet werden. Shapepoints haben keine topologische, aber eine geometrische Bedeutung. Mindestens zwei Edges bilden ein Face. Straßennetze werden als Graphen modelliert.

In Level 1 werden Objekte aus Level 0 mit Attributen, sogenannten Features, versehen. Features können beschreiben, um welche Art von Objekt es sich handelt, zur Kategorisierung von Features werden Feature Codes verwendet. Beispielsweise beschreibt der Feature Code 4110 ein Road Element. Features können wiederum weitere Attribute zugewiesen werden, beispielsweise kann ein spezifisches Road Element mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit attribuiert werden.

Level 2 fasst Objekte des Level 1 bei Bedarf zu Complex Features zusammen. Auf diese Weise können z. B. mehrere Road Elements zu einer Straße zusammengefügt werden, mehrere Straßen können auf die gleiche Weise zu einem Straßennetz verbunden werden.

3.3. Speed Limit Warning

3.3.1. Geschwindigkeitsbeschränkungen in der Karte

Datenerfassung

Für die vorliegende Untersuchung standen aktuelle Erhebungen zu den gültigen Geschwindigkeitsbeschränkungen zur Verfügung. Diese Geschwindigkeitsbeschränkungen wurden durch eine Befahrung der Teststrecke mit einem Erfassungsfahrzeug der Firma Teleatlas erfasst und digitalisiert (Hecht u. a., 2005; T'Siobbel u. a., 2005a,b), sowie in der entsprechenden digitalen Karte implementiert und vor Ort verifiziert (Heinig u. a., 2007).

Datenmodell

Für die Untersuchungen zum DWS wurden die Geschwindigkeitsbeschränkungen nach GDF ISO 14825 (2004) definiert. GDF beschreibt Geschwindigkeitsbeschränkungen (Speed Restrictions) als ein optionales Feature eines Road Element (ISO 14825, 2004, Abschnitt 7.3.111, S. 132). Eine Speed Restriction kann mit weiteren Attributen versehen werden, um zeitabhängige, fahrzeug- oder fahrstreifenspezifische Geschwindigkeitsbeschränkungen zu beschreiben. Abbildung 3.2 zeigt die Speed Restriction in NIAM Notation als Feature eines Road Element.

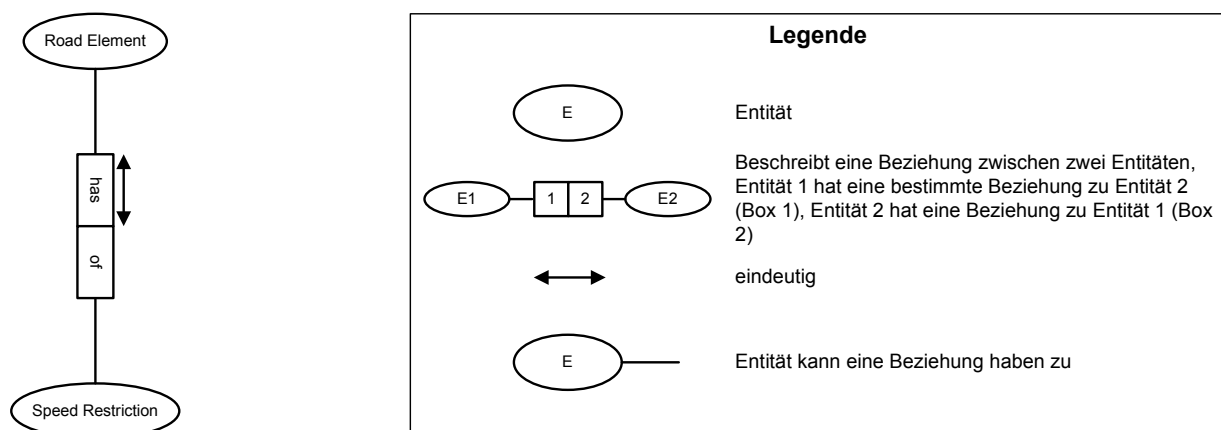


Abbildung 3.2.: GDF-konformes Datenmodell der Speed Limits (NIAM-Notation; ISO 14825, 2004)

3.3.2. Algorithmus

Der Speed Limit Algorithmus berechnet die Geschwindigkeit, die dem Nutzer auf dem Display des DWS angezeigt wird und warnt bei einer Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Die Eingangsdaten sind dabei die aktuelle Fahrgeschwindigkeit, die Position des Fahrzeugs in der digitalen Karte sowie die in der Karte gespeicherten Geschwindigkeitsbeschränkungen.

Aus der Karte werden die letzte sich in Fahrtrichtung hinter dem Fahrzeug befindende Geschwindigkeitsbeschränkung (Previous Speed Limit, PSL), sowie die beiden nächsten vor dem Fahrzeug befindende Geschwindigkeitsbeschränkungen (Next Speed Limit 1 und 2, NSL_1 und NSL_2) bestimmt (vgl. Abbildung 3.3 auf der nächsten Seite). Ebenfalls aus der Karte werden die Entfernungen zu den beiden sich vor dem Fahrzeug befindenden Geschwindigkeitsbeschränkungen (Distance to Next Speed Limit 1 und 2, Dist_NSL_1 und Dist_NSL_2) benötigt. Die dritte maßgebende Länge ist die Vorausschautrecke (Preview Distance, PD), die sich aus der in den Nutzereinstellungen vorgegebenen Vorausschauzeit, sowie der aktuellen Fahrgeschwindigkeit berechnet. Die Vorausschautrecke wird dazu verwendet, die Strecke vor dem Fahrzeug in einem geeigneten maximalen Abstand nach Geschwindigkeitsbeschränkungen (oder im Falle der HSW, nach Hot Spots) zu durchsuchen und so den Fahrer ausreichend vor dem Erreichen der eigentlichen Geschwindigkeitsbeschränkung auf diese hinzuweisen. Anhand von Voruntersuchungen wurde eine Vorausschauzeit von zwei Sekunden als optimal ermittelt (Heinig u. a., 2007), wenn die nächste Geschwindigkeitsbeschränkung niedriger als die aktuell gültige ist und von null Sekunden, wenn die nächste Geschwindigkeitsbeschränkung höher ist als die aktuell gültige. Durch die Wahl dieser Vorausschauzeiten wird erreicht, dass einerseits ausreichend Reaktionszeit für den Fahrer vorhanden ist und eine vorausschauende Fahrweise unterstützt. Andererseits werden gelegentlich vorhandene Ortungsfehler insbesondere für ersten Fall (nächste Geschwindigkeitsbeschränkung ist geringer als die aktuelle) kompensiert.

Um die anzuzeigende Geschwindigkeitsbeschränkung zu ermitteln, wird zunächst überprüft, ob die sich aus Vorausschauzeit und Fahrgeschwindigkeit ergebende Vorausschautrecke PD geringer ist als der Abstand zur nächsten Geschwindigkeitsbeschränkung Dist_NSL_1. Ist die Vorausschautrecke geringer, wird die letzte gültige Geschwindigkeitsbeschränkung PSL angezeigt (Abbildung 3.3 auf der nächsten Seite, Fall A). Ist die Vorausschautrecke dagegen größer als der Abstand zur nächsten Geschwindigkeitsbeschränkung, ist also die nächste Geschwindigkeitsbeschränkung weniger als zwei Sekunden Fahrzeit entfernt, wird überprüft, ob die Vorausschautrecke PD geringer ist als der Abstand zur übernächsten Geschwindigkeitsbeschränkung Dist_NSL_2. Ist dies der Fall, wird die nächste Geschwindigkeitsbeschränkung NSL_1 angezeigt, weil diese vom Fahrer in der unmittelbaren Zukunft zu beachten ist (Abbildung 3.3, Fall B). Befinden sich dagegen die beiden nächsten Geschwindigkeitsbeschränkungen innerhalb der Vor-

3. Systembeschreibung

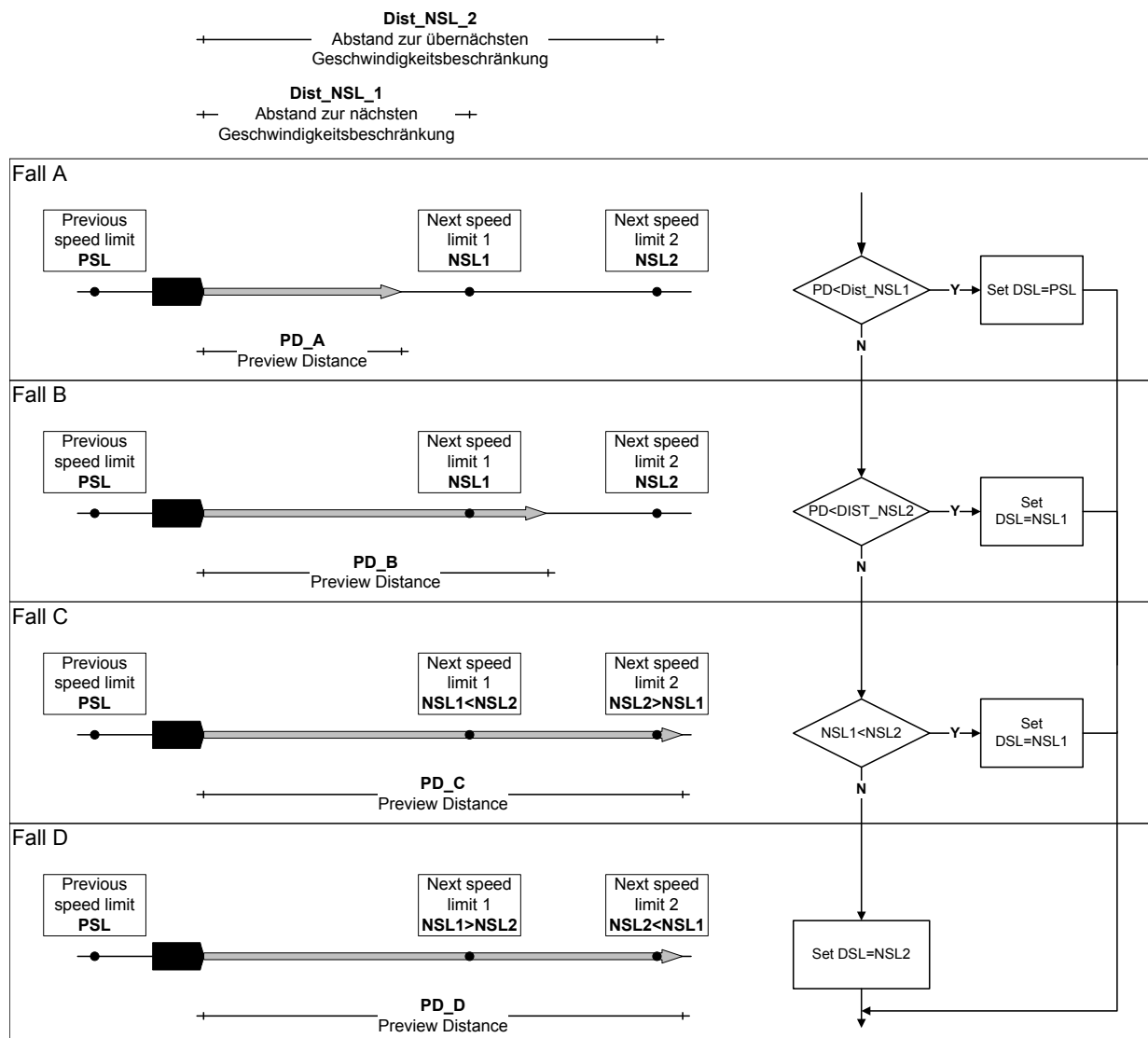


Abbildung 3.3.: Ermittlung der anzuzeigenden Geschwindigkeitsbeschränkung.

ausschautstrecke, wird überprüft, ob die nächste Geschwindigkeitsbeschränkung (Abbildung 3.3, Fall C) oder die übernächste Geschwindigkeitsbeschränkung (Abbildung 3.3, Fall D) niedriger ist. Die niedrigere von beiden wird angezeigt. In jedem Zeitschritt wird dazu zusätzlich überprüft, ob die aktuell gültige Geschwindigkeitsbeschränkung überschritten wird. Ist die aktuelle Fahr- geschwindigkeit $v > v_{Zul} + 6 \frac{km}{h}$, wird das Symbol der Geschwindigkeitsbeschränkung mit einer Frequenz von 2 Hz blinkend angezeigt. Ist die aktuelle Fahr- geschwindigkeit $v > v_{Zul} + 20 \frac{km}{h}$, erfolgt eine einmalige akustische Warnung. Das Blinken wird solange beibehalten, bis die aktuelle Fahr- geschwindigkeit wieder unter die zulässige Höchstgeschwindigkeit gefallen ist.

Eine detaillierte Darstellung des Algorithmus mit allen Variablen und Berechnungsschritten ist in Anhang A.2.1 auf Seite 179 dargestellt.

3.4. Hot Spot Warning

3.4.1. Hot Spots in der Karte

Hot Spots beschreiben Stellen im Straßennetz, an denen ein erhöhtes Unfallrisiko besteht. Um diese Stellen zu identifizieren, wurden die Daten der in Niedersachsen polizeilich erfassten Unfälle der Jahre 2001 bis 2004 analysiert, die aus der entsprechenden Datenbank des Polizeiamtes für Technik und Beschaffung zur Verfügung gestellt wurden, aktuellere Datensätze waren nicht zugänglich. Eine Beschreibung des Datensatzes ist in Tabelle A.1 auf Seite 175 enthalten.

Relevante Unfälle

Grundsätzlich können durch eine Applikation wie die Hot Spot Warning alle Unfalltypen, Unfallarten und Unfallkategorien adressiert werden. Insbesondere solche Unfalltypen, an denen ursächlich mehrere Verkehrsteilnehmer beteiligt sind, also zum Beispiel Auffahrunfälle, können jedoch erheblich effizienter durch aktive Sicherheitssysteme verhindert werden, die die Umgebung des Fahrzeugs aktiv durch Sensoren wahrnehmen. Solche Systeme erfassen beispielsweise durch Radarsensoren die vorausfahrenden und neben dem Fahrzeug fahrenden Verkehr und warnen den Fahrer bei einer bevorstehenden Unfallgefahr, bzw. unterstützen ihn beim Bremsen (? , vgl. z. B.). Konsequenterweise adressiert die Hot Spot Warning hier solche Unfälle, die ohne eine Einwirkung dritter entstehen können. Daher wurden die zur Verfügung stehenden Unfalldaten zunächst anhand der folgenden Kriterien gefiltert (Hecht u. a., 2005):

Unfalltyp Die Unfalltypen 2 bis 6 beschreiben Unfälle, die aufgrund von Interaktionen zwischen Verkehrsteilnehmern entstehen und sind daher für ein kartengestütztes System nicht relevant. Daher werden nur Unfälle der Typen 1 (Fahrerunfall, ausgelöst durch den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug) und 7 (sonstiger Unfall, besondere Beachten von Wildunfällen) verwendet.

Unfallart Berücksichtigt wurden vornehmlich die Arten 8 und 9, also Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links, die die typische Bewegungsrichtungen des Fahrzeug in einem Alleineunfall außerorts beschreiben.

Zusätzlich wurden solche Unfälle berücksichtigt, die durch eine unangepasste Geschwindigkeit in Rechtskurven verursacht wurden, aber nicht notwendigerweise Alleineunfälle

sind. Dabei wird der Unfallverursacher nach außen aus dem Fahrstreifen getragen und kollidiert mit einem entgegenkommenden Fahrzeug. Diese Kombination ist durch Unfallart 4 (Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das entgegenkommt) und Unfallursachen 12 oder 13 (unangepasste Geschwindigkeit ohne oder mit Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit), aber nicht Unfallursachen 17 bis 22 (Fehler beim Überholen) gegeben.

Wildunfälle sind durch die Kombination aus dem Unfalltyp 7, der Unfallart 7 und Unfallursache 86 oder 87 (Tiere auf der Fahrbahn) gegeben. Solche Unfälle sind in der Regel in der Dämmerung in Waldgebieten besonders häufig.

Unfallkategorie Hinsichtlich der Unfallkategorie wurden keine Einschränkungen vorgenommen.

Kategorie der Verkehrsteilnehmer Eine zunächst geplante Beschränkung auf motorisierte Verkehrsteilnehmer konnte nicht vorgenommen werden, weil das entsprechende Attribut der Unfalldatensätze nur sehr unvollständig mit einem Wert belegt war.

Unfallursache Unfälle, bei denen die Ursachen 1 bis 4 (Verkehrstüchtigkeit, z. B. Alkohol) wurde aus der Analyse ausgeschlossen.

Ortsbestimmung

Eine Ortsbestimmung der Unfälle erfolgt anhand der Ortsangaben in Form von Rechts- und Hochwerten im Gauss-Krüger-Koordinatensystem. Zu jeder Ortsangabe wird ein Qualitätsindikator, die sogenannte „Granularitätsstufe“ angegeben. Die vier Granularitätsstufen beschreiben, ob der im Gauss-Krüger-System angegebene Ort

- den tatsächlichen Unfallort, oder
- die Straße, auf der der Unfall stattgefunden hat, oder
- das Postleitzahlengebiet, in dem der Unfall stattgefunden hat, oder
- den Landkreis, in dem der Unfall stattgefunden hat, bezeichnet.

Daraus ergibt sich, dass eine ortsbezogene Analyse der Unfalldaten mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems zunächst nur für solche Unfälle stattfinden kann, deren Gauss-Krüger-Koordinaten den tatsächlichen Unfallort beschreiben. Für den vorliegenden Datensatz der Unfälle in Niedersachsen in den Jahren 2001 bis 2004 war das nur für 25 % der Unfälle gegeben, von denen wiederum der weitaus größte Teil innerorts lag. Für die verbleibenden Unfälle wurde versucht, anhand zusätzlicher Angaben zum Straßennamen, der Kilometrierung und

Fahrtrichtung eine Verortung durchzuführen. Diese Methode ist in Hecht u. a. (2005) beschrieben.

Warngeschwindigkeit Zur Ermittlung der Warngeschwindigkeit der HSW wurde das Geschwindigkeitsprofil einer unter sehr günstigen Witterungsverhältnissen und in einer sehr verkehrsschwachen Zeit durchgeführten Vergleichsfahrt verwendet. Die so erreichten lokalen Geschwindigkeiten wurden als Warngeschwindigkeiten für trockene Straßenverhältnisse bei guter Sicht hinterlegt. Dieses pragmatische Verfahren ist für die vorliegende Untersuchung sehr gut geeignet, weil sowohl Trassierung als auch Sichtweiten berücksichtigt wurden.

Datenmodell

Ein Hot Spot (HS) ist ein Teil einer Straße, für den ein erhöhtes Unfallrisiko entsprechend der in Abschnitt 3.4.1 auf Seite 17 beschriebenen Vorgehensweise identifiziert wurde. In der GDF konformen Datenbank, die für das DWS verwendet wurden, ist ein HS ein optionales Complex Feature eines Road Element. Ein HS hat zwei obligatorische (Warning Category und Linear Segmentation), sowie vier optionale Unterattribute (Warning Restriction, Validity Direction, Severity und Source). Abbildung 3.4 auf der nächsten Seite zeigt das in NIAM-Notation beschriebene Datenmodell eines HS.

Warning Category Die Warning Category ist ein notwendiges und eindeutiges Unterattribut eines HS. Sie beschreibt die Art der potenziellen Gefahr für den Nutzer, wie sie sich aus der Analyse der Unfalldaten ergeben hat. Die Kategorien orientieren sich an den in der Wiener „Convention for Road Signs and Signals“ (Economic Commission for Europe, 1968) festgelegten Gefahrzeichen.

Linear Segmentation Der Gültigkeitsbereich eines Hot Spots wird durch das obligatorische Unterattribut „Linear Segmentation“ beschreiben, das aus den zwei obligatorischen Unterattributen „Chainage“ besteht. Diese beschreiben Beginn und Ende des HS relativ zum Beginn des Road Element.

Warning Restriction Die „Warning Restriction“ ist ein beschränkendes optionales Unterattribut, das einen HS näher definiert. Es besteht aus vier optionalen Teilen:

Warning Level beschreibt die Gültigkeit eines HS relativ zur aktuellen Fahrgeschwindigkeit. Mögliche Werte liegen zwischen 0 und 16 und werden vom Hot Spot Warning Algorithmus dazu verwendet, die Warngeschwindigkeit durch eine Multiplikation des Warning Level

3. Systembeschreibung

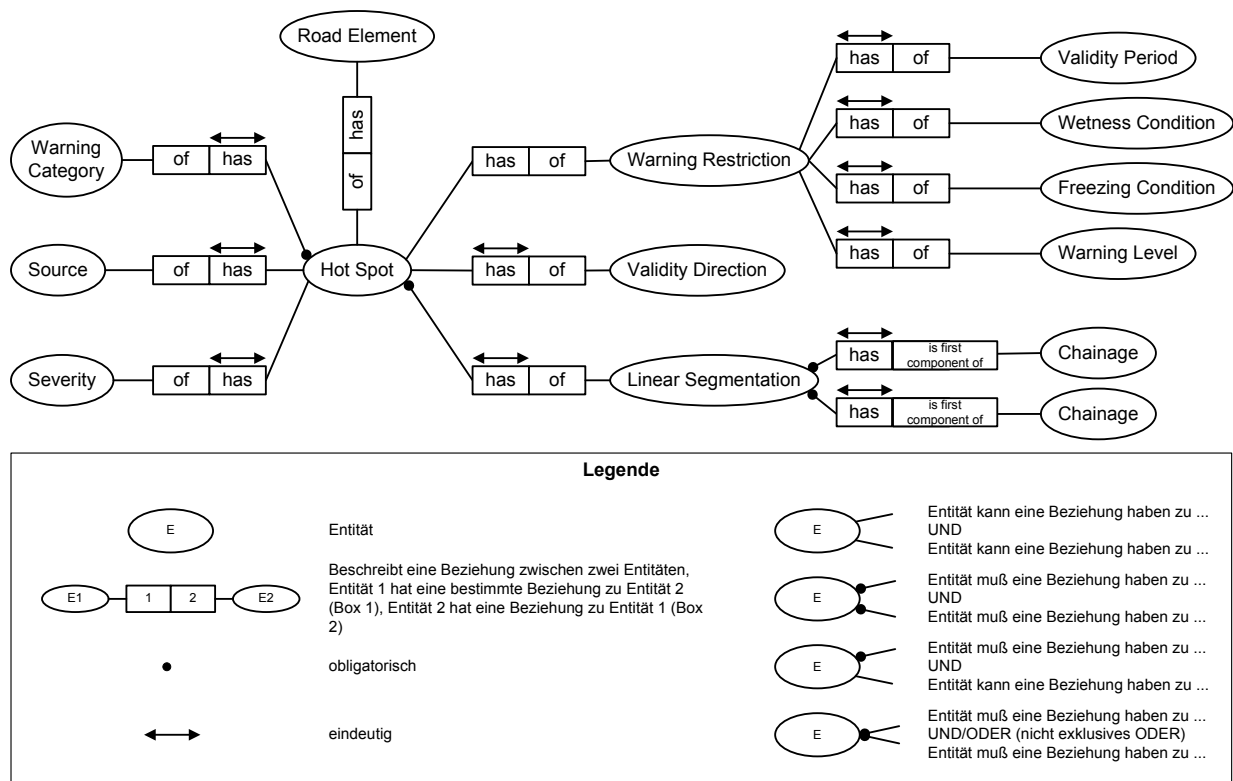


Abbildung 3.4.: GDF-konformes Datenmodell der Hot Spots (NIAM-Notation; Heinig u. a., 2005)

mit 10 zu berechnen und so die Warnungen des HSW geschwindigkeitsabhängig formulieren zu können. Ist beispielsweise der Warning Level eines HS „7“, ist der HS nur für Geschwindigkeiten von über $70 \frac{km}{h}$ gültig. Fehlt der Warning Level, ist der HS unabhängig von der Fahrzeuggeschwindigkeit gültig.

Freezing Condition beschränkt die Gültigkeit des HS in Abhängigkeit von der aktuellen Außentemperatur. Mögliche Werte sind 0 für eine Gültigkeit unterhalb der in den Nutzereinstellungen zum DWS definierten Temperaturwarnschwelle, sowie 1 für eine Gültigkeit oberhalb dieser Schwelle. Fehlt der Wert, ist der HS für alle Temperaturen gültig.

Wetness Condition beschränkt die Gültigkeit des HS in Abhängigkeit vom Nässezustand der Fahrbahn. Wie für die Freezing Condition kann die Wetness Condition die Werte 0 (HS gültig für nasse Fahrbahn) oder 1 (HS gültig nur für trockene Fahrbahn) annehmen, oder fehlen, wobei der HS dann für alle Feuchtigkeitsstufen gültig ist.

Mit Hilfe der drei Attribute Warning Level, Freezing Condition und Wetness Condition werden die Warnschwellen jedes Hot Spots als zweidimensionale Matrix modelliert. Die Warnschwelle für die Bedingung Freezing Condition = 0 und Wetness Condition =

Tabelle 3.1.: Beispiel einer Warning Level Matrix eines Hot Spot. In Abhängigkeit der Wetness und der Freezing Condition wird der Warning Level als Warnschwellenwert modelliert. Der Wert für die Bedingung trocken (Wetness Condition = 0) und warm (Freezing Condition = 0) wurde aus einer Vergleichsfahrt abgeleitet. Die Werte für die anderen Bedingungen wurden durch pauschale Abzüge ermittelt.

		Freezing Condition	
		1	0
Wetness Condition	1	7	9
	0	9	10

0 wurde dabei aus der oben erwähnten Vergleichsfahrt ermittelt und für die Kombinationen aus Freezing Condition und Wetness Condition zunächst pauschale Abschläge verwendet. Während der Testphase bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen wurden die Abschläge für jeden Hot Spot weitestgehend überprüft und gegebenenfalls modifiziert. Tabelle 3.4.1 zeigt beispielhaft eine Warning Level Matrix. Keine Berücksichtigung fand bei dieser Methode einer Bewertung der Salzgehaltes auf der Fahrbahn, der insbesondere bei der Bedingung Freezing Condition = 1 einen erheblichen Einfluss auf eine Warnschwelle haben kann. Sowohl Datenmodell als auch Algorithmus lassen eine entsprechende Erweiterung jederzeit zu, da jedoch im Fahrzeug keine Sensorik zur Erfassung entsprechender Werte zur Verfügung stand, wurde darauf verzichtet.

Validity Period beschränkt die zeitliche Gültigkeit des HS. Er kann dazu verwendet werden, alle im GDF erlaubten Zeitbereiche zu definieren. Für das DWS werden die Zeiträume „day“, „night“ und „dawn/ dusk“ verwendet, die im Algorithmus der HSW durch Beginn der nautischen Dämmerung am Abend bzw. ihr Ende am Morgen interpretiert werden.

Die Dämmerung wird in drei Phasen unterteilt, die am Abend in der Reihenfolge bürgerliche Dämmerung, nautische Dämmerung und astronomische Dämmerung ablaufen. Die bürgerliche Dämmerung ist durch den Sonnenuntergang bzw. -aufgang und den Zeitpunkt gekennzeichnet, zu dem der Mittelpunkt der Sonnenscheibe nicht tiefer als 6° unter dem Horizont steht. Sie wurde als Unterscheidungsmerkmal verwendet, weil vor ihrem Beginn am Abend bzw. nach ihrem Ende am Morgen während der bürgerlichen Dämmerung eine Unterscheidung von Objekten noch problemlos möglich ist und somit eine Erkennbarkeit potenzieller Hindernisse auf der Straße gegeben ist. Abbildung 3.5 auf der nächsten Seite zeigt den Zusammenhang. Fehlt der Wert zur Validity Period, ist der HS zeitunabhängig

3. Systembeschreibung

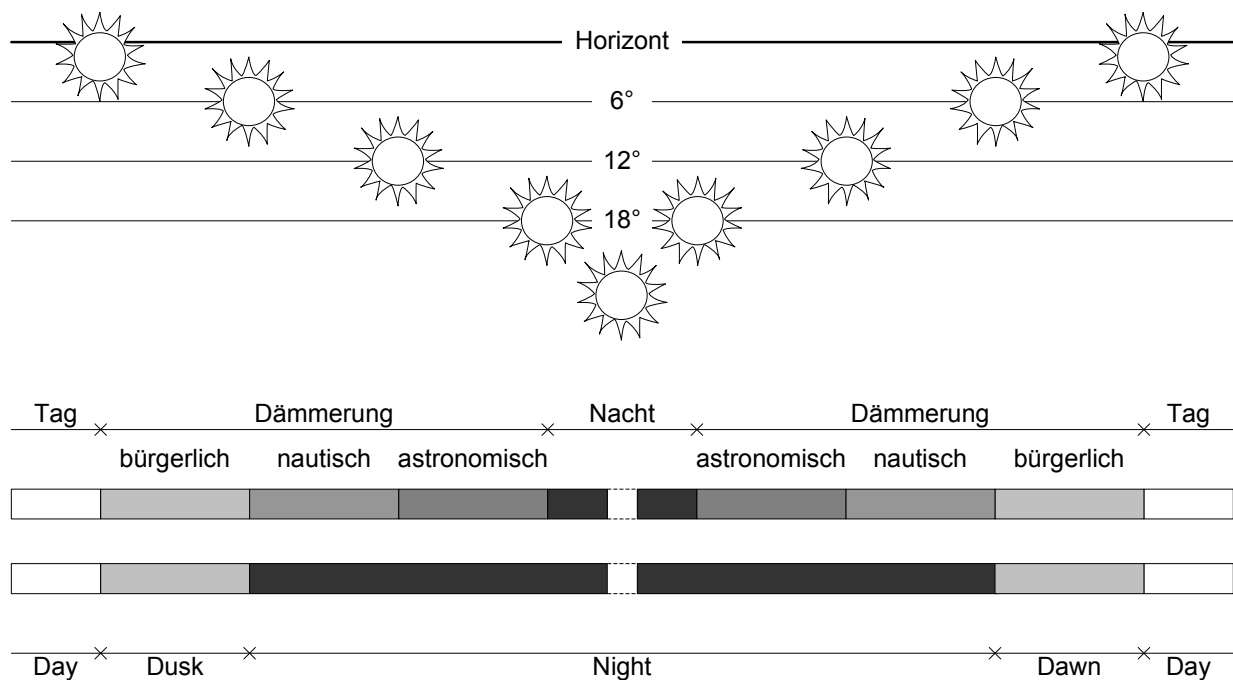


Abbildung 3.5.: Zusammenhang zwischen Sonnenstand, Dämmerung und der Definition der Validity Period. Die bürgerliche Dämmerung beginnt mit dem Sonnenuntergang, währenddessen die gesamte Sonnenscheibe unter dem Horizont verschwindet und endet mit dem Beginn der nautischen Dämmerung. Die nautische Dämmerung beginnt, wenn sich der Mittelpunkt der Sonnenscheibe 6° unter dem Horizont befindet und endet mit dem Beginn der astronomischen Dämmerung. Diese beginnt, wenn der Mittelpunkt der Sonnenscheibe 12° unter dem Horizont liegt und endet bei 18° (Brockhaus, 1996).

gültig. Der Grund für diese Definition der Validity Period sind die in Waldgebieten gehäuft in der Morgen- und Abenddämmerung auftretenden Wildunfälle, die zu Hot Spots mit der entsprechenden Validity Period führen. Alternativ zu diesem kartenbasierten Ansatz kann auch ein gegebenenfalls im Fahrzeug vorhandener Lichtsensor verwendet werden, um eventuell genauer die Lichtverhältnisse zu bestimmen. Da ein solcher Sensor im verwendeten Fahrzeug aber nicht zur Verfügung stand, wurde der beschriebene Weg gewählt.

Validity Direction Die Gültigkeit eines HS in Bezug auf die Fahrtrichtung wird durch die „Validity Direction“ beschrieben. Entsprechend der Digitalisierungsrichtung des Road Elements kann der Hot Spot in positiver Richtung (Validity Direction=1), in negativer Richtung (Validity Direction=0) oder in beide Richtungen (Validity Direction=leer) gültig sein.

Severity Gibt es für das selbe Road Element zwei HS, muss der HSW Algorithmus entscheiden können, welcher HS der wichtigere ist. Dazu wird der Wert „Severity“ verwendet, der sich in der Regel aus der Anzahl der Unfälle ergibt, die für die Ermittlung des HS an der entsprechenden Stelle maßgebend waren.

Source Um die Applikationen testen zu können, wurden für die Verifizierung in die verwendete Karte synthetische, nicht auf Unfalldaten basierende HS implementiert, die bei der anschließenden Validierung nicht verwendet wurden. Die synthetischen HS werden anhand des „Source“-Attributs identifiziert.

3.4.2. Algorithmus

Der Algorithmus der Hot Spot Warning bestimmt, ob dem Nutzer eine situationsabhängige Warnung angezeigt wird. Als Eingangsdaten werden dabei sowohl die in der Karte gespeicherten Hot Spots, als auch direkt vom CAN-Bus des Fahrzeugs gelesenen Daten zur aktuellen Fahrgeschwindigkeit, zur Außentemperatur, zur Regensituation (über den Status der Scheibenwischer) und zur aktuellen Zeit verwendet (vgl. die beiden linken Spalten in Abbildung 3.6 auf der nächsten Seite). Die folgenden Schritte werden durchlaufen (vgl. 3.6 auf der nächsten Seite):

- Befindet sich das Fahrzeug im Geltungsbereich eines Hot Spots? Der Geltungsbereich bestimmt sich dabei ähnlich wie für die SLW anhand der Vorausschautrecke, die sich aus der Vorausschauzeit und der aktuellen Fahrgeschwindigkeit bestimmt.
- Ist der Hot Spot für die aktuelle Zeit gültig? Da im Datenmodell des HS die zeitliche Gültigkeit durch „day“, „night“ und „dawn/ dusk“ definiert ist, wird der Beginn und das Ende der nautischen Dämmerung bestimmt. Ist der Hot Spot zeitlich gültig, erfolgt der nächste Schritt.
- Wie ist die aktuelle Kombination aus Temperatur und Feuchtigkeit auf der Straße? Dabei werden vier Fälle unterschieden und der entsprechende Wert für den „Warning Level“ aus dem Hot Spot verwendet, um die aktuelle Warngeschwindigkeit zu berechnen. Daraus ergibt sich, dass ein Hot Spot in der Regel über mehrere Warning Restrictions verfügt, die für jede Kombination aus Temperatur, Feuchtigkeit und Zeit einen spezifischen Warning Level festlegen (vgl. Abbildung 3.7 auf Seite 25).

3. Systembeschreibung

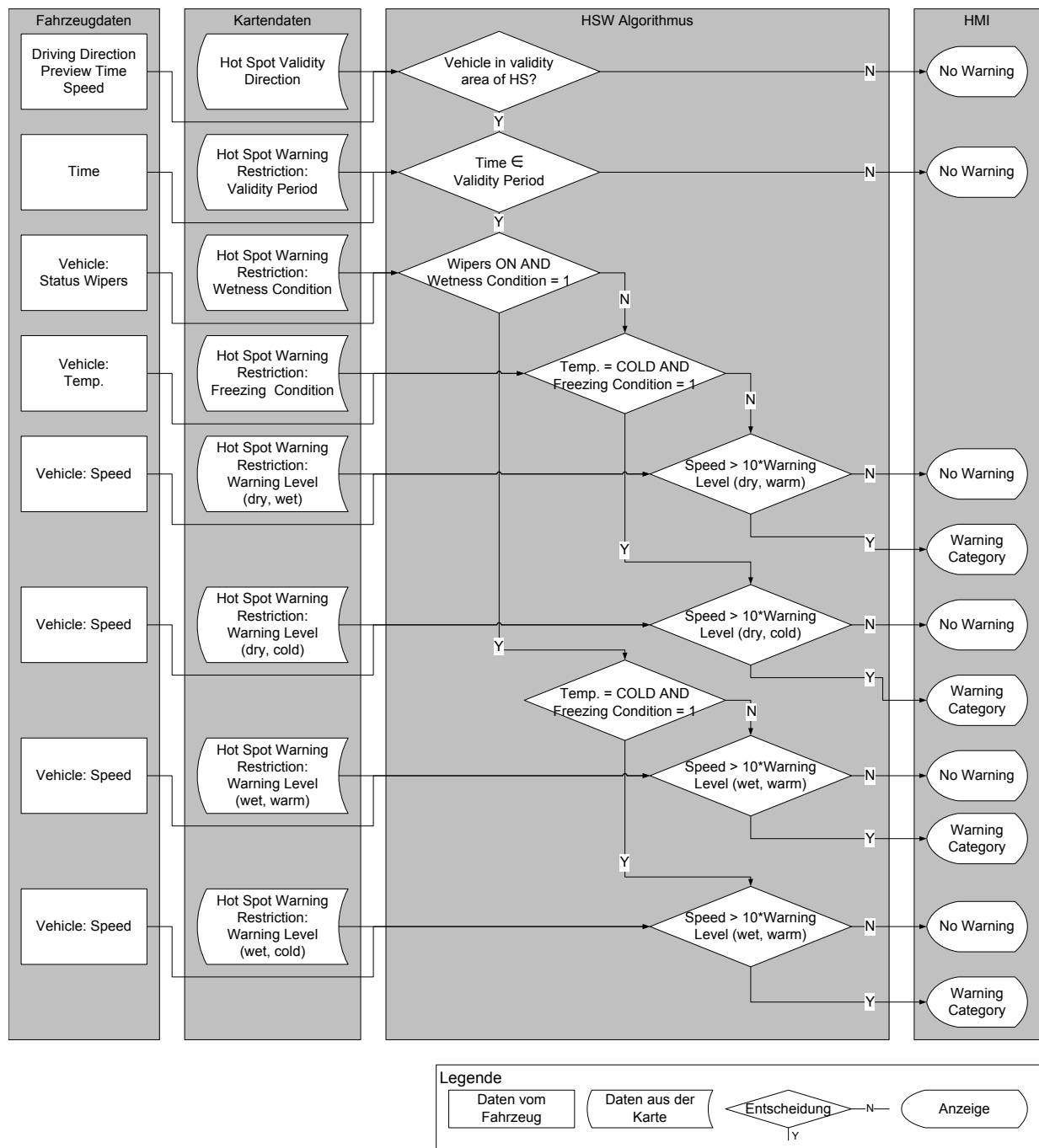


Abbildung 3.6.: Algorithmus der HSW zur Anzeige des aktuellen Hot Spot. Das Ablaufdiagramm stellt die von Vogt, Heinig, Hecht, Stadler, T'Siobbel, Wevers und Mittaz (2006) beschriebene Spezifizierung des HSW Algorithmus dar.

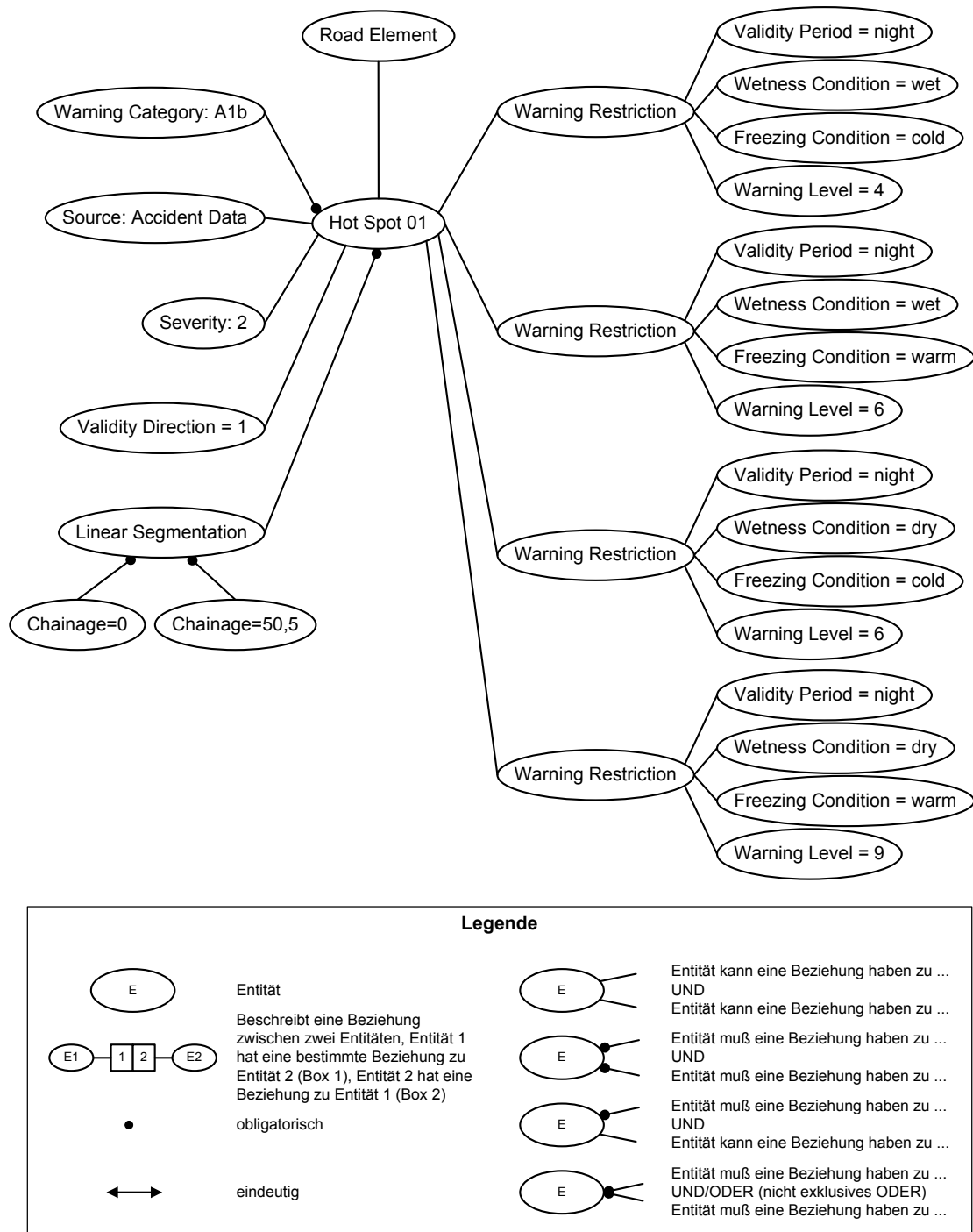


Abbildung 3.7.: Beispiel für einen Hot Spot, der Kategorie A1b (Rechtskurve, Kategorisierung nach Economic Commission for Europe (1968)), der aus Unfalldaten abgeleitet wurde und vier Warning Restrictions hat. Alle Warning Restrictions gelten für „night“ und beschreiben in Abhängigkeit von Temperatur („cold“ oder „warm“) und Feuchtigkeit („wet“ oder „dry“) einen spezifischen Warning Level: 4, 6, 6 und 9.

3.5. Mensch-Maschine-Schnittstelle

Das DWS übermittelt die Informationen der SLW und der HSW auf optischem Wege, die Warnungen werden zusätzlich auf dem akustischen Kanal ausgegeben. Als Anzeigeeinstrument wird das im Testfahrzeug bereits vorhandene Anzeigedisplay des Navigationssystems, sowie das eingebaute Audiosystem verwendet (zur Ansteuerung beider Systeme vgl. Abschnitt 5.2.1 auf Seite 54, sowie die Abbildungen 5.3 auf Seite 56 und 5.5 auf Seite 60). Dadurch konnten zusätzliche Einbauten vermieden werden, die die Nutzer unter Umständen zusätzlich abgelenkt hätten oder das Verletzungsrisiko der Insassen bei einem potenziellen Unfall unnötig erhöht hätten. Abbildung 3.8 zeigt die Lage des Display relativ zur Blickachse eines Nutzers, Abbildung 3.9 auf der nächsten Seite das Sichtfeld eines Nutzers unter Einbeziehung von Augen- und Kopffrotation nach einer Empfehlung des MIL-STD-1472F (1999). Danach liegt das Display zwar nicht innerhalb des optimalen Bereichs auf der horizontalen Achse, jedoch innerhalb des überschaubaren Bereichs. Die vertikale Platzierung ist dagegen optimal.

Die Warnungen der SLW, die als einmaliger Warnton dann ausgegeben werden, wenn die aktuelle Geschwindigkeit mehr als $20 \frac{km}{h}$ über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit liegt, werden als Standardton über das Audiosystem des Testfahrzeugs ausgegeben. Wird ein Hot Spot angezeigt, erfolgt immer eine einmalige akustische Warnung an den Fahrer, die sich einfach von der der SLW unterscheiden lässt.

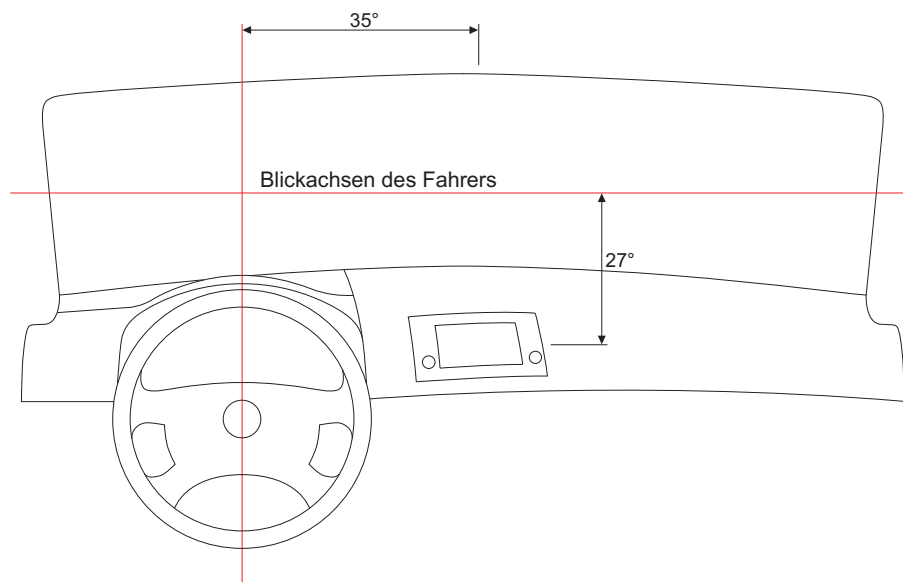


Abbildung 3.8.: Platzierung der Anzeige des MFD-II, das für die Anzeige der Informationen und Warnungen des DWS genutzt wird.

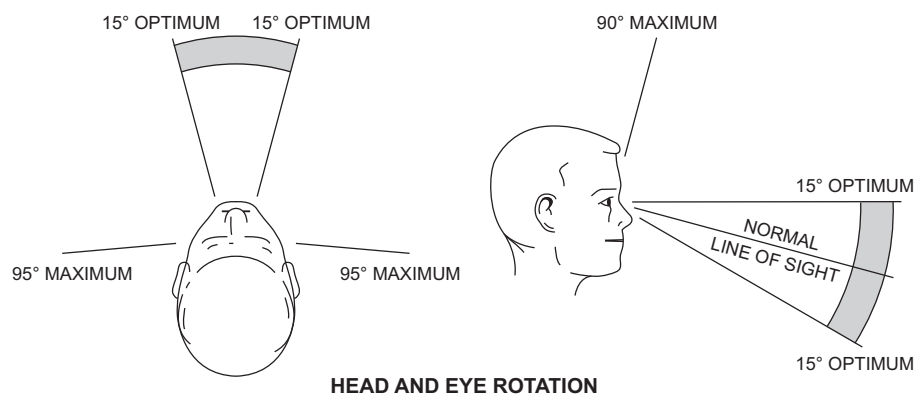


Abbildung 3.9.: Sichtfeld eines Nutzers, innerhalb dessen durch Kopf- und Augenrotation Informationen optimal aufgenommen werden können (MIL-STD-1472F, 1999).

4. Entwicklung der Bewertungsmethodik

4.1. Grundüberlegungen

Das Ziel der zu entwickelnden Bewertungsmethodik ist es, das Driver Warning System hinsichtlich seiner Wirkungen auf die Verkehrssicherheit zu bewerten.

Die Bewertung der Verkehrssicherheit von Systemen kann in den drei Ebenen der Unfallanalysen, der Untersuchung von Verkehrskonflikten und der nutzerorientierten Analysen erfolgen (vgl. Abb. 4.1).

Der direkteste Weg zur Beurteilung der Verkehrssicherheit ist die Analyse von Unfalldaten. Hier lassen sich mikroskopische und makroskopische Untersuchungen unterscheiden. Makroskopische Analysen sind gegenüber kleinen Veränderungen im System relativ unempfindlich und benötigen einen großen Stichprobenumfang, um signifikante Veränderungen zu erkennen,

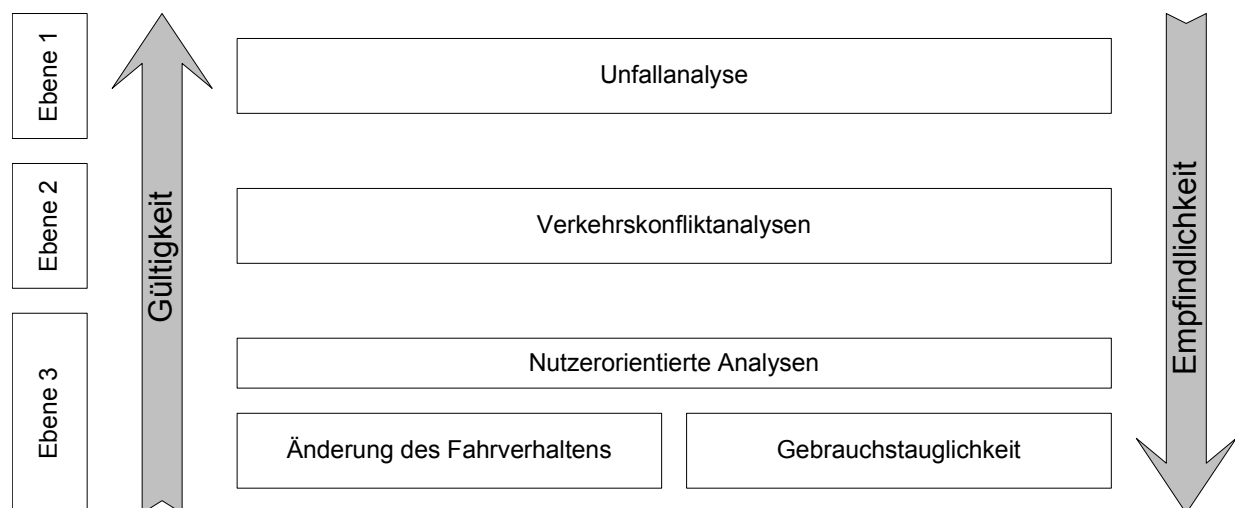


Abbildung 4.1.: Kategorisierung von Bewertungsmethoden zur Beurteilung der Verkehrssicherheit von Fahrerinformationssystemen, angelehnt an DIN EN ISO 17287 (2003).

sind aber verlässlich. Mikroskopische Untersuchungen haben ebenfalls eine hohe Gültigkeit und zeigen die Wirkung neuer Systeme direkt, wenn die Unfalldaten detailliert erhoben werden und entsprechende Vorher-Nachher-Vergleiche durchgeführt werden. Entsprechende Daten werden z. B. in Deutschland im Rahmen von GIDAS (German In-Depth Accident Study) im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen für die Regionen Hannover und Dresden erhoben (BASt, 2006). Auch viele Automobilhersteller erheben entsprechende Daten, konzentrieren sich dabei aber auf Unfälle mit Fahrzeugen der eigenen Marken. Mit diesen Daten sind sehr zuverlässige Aussagen über die Wirksamkeit spezifischer Systeme möglich. Diese Daten stehen externer Forschung allerdings nicht oder nur in Verbindung mit hohen Kosten zur Verfügung. Da aber für neu eingeführte oder prototypische Systeme aussagekräftige Daten nicht vorliegen können und da auch bereits vor einer Markteinführung Aussagen zur potenziellen Wirkung benötigt werden, müssen mit Hilfe anderer Methoden und Messgrößen Rückschlüsse auf die Verkehrssicherheit gezogen werden.

Eine weitere Methode, Veränderungen in der Verkehrssicherheit zu quantifizieren, ist die Analyse von Verkehrskonflikten. Diese besitzen dabei eine geringere Gültigkeit als Unfalluntersuchungen, reagieren auf Veränderungen jedoch empfindlicher. Verkehrskonflikte sind dabei in der Regel Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern, die nach ihrer Schwere klassifiziert werden können. Methoden dieser Klasse basieren in der Regel auf der von Risser und Brandstätter (1985) vorgestellten und später weiterentwickelten "Wiener Fahrprobe" (Risser und Lehner, 1997). Dabei wird jeder Proband von mindestens zwei weiteren Personen begleitet, die strukturierte und freie Anmerkungen aufzeichnen. Problematisch ist dabei die entstehende Subjektivität der Bewertungsgrößen. Die gelegentlich versuchte Umrechnung der Anzahl von Konflikten in eine potenzielle Anzahl von Verkehrsunfällen kann bislang nicht verifiziert werden, weil empirische Daten dazu fehlen. Vermutlich wird sich dies aber in naher Zukunft ändern. Die Daten entsprechend groß angelegter Feldversuche mit mehreren hundert bis zu über eintausend Fahrzeugen, die über mehrere Monate in alltäglicher Nutzung sind, werden u. a. zur Klärung des quantitativen und qualitativen Zusammenhangs zwischen Konflikten und Unfällen beitragen (vgl. z. B. Carsten u. a., 2008).

Für die Analyse der Applikationen des DWS kommt diese Methodengruppe ebenfalls nicht in Frage, weil beide Systeme nicht primär die Interaktion zwischen Verkehrsteilnehmern beeinflussen, sondern das Fahrverhalten eines Verkehrsteilnehmers bei unbeeinflusster Fahrt adressieren.

Die dritte Ebene von Methoden zur Untersuchung der Verkehrssicherheit sind Untersuchungen, die sich direkt auf objektiv messbare Verhaltensänderungen der Nutzer und deren subjektive Bewertung des Systems konzentrieren. Diese Methoden sind gegenüber Veränderungen extrem empfindlich, weil jede Veränderung im System sofort in den Daten sichtbar ist. Da aber in der Regel aus Veränderungen einzelner entsprechender Parameter nicht direkt auf Veränderungen

in der Verkehrssicherheit geschlossen werden kann, müssen mehrere Bereiche untersucht werden, die einen vermuteten Einfluss auf die Verkehrssicherheit haben. Dazu sind Stichproben mit einem ausreichenden Umfang nötig, um signifikante Effekte zu finden. Zu diesen Effekten gehören sowohl Veränderungen, die direkt am Fahrzeug messbar sind (z. B. Veränderungen der Geschwindigkeit), als auch Veränderungen, die sich im Verhalten der Nutzer ergeben, z. B. eine kognitive oder visuelle Ablenkung. Solche nutzerorientierten Untersuchungen sind vor allem dann gut anwendbar, wenn sowohl Unfallanalyse und Verkehrskonfliktanalyse nicht möglich sind, sich aber objektive Messgrößen direkt beobachten lassen oder aus anderen Messgrößen abgeleitet werden können. Diese nutzerorientierten Analysen sind in zwei große Bereiche unterteilbar: die Untersuchung der direkten Veränderung des Fahrverhaltens und die Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit. Sie werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

4.2. Nutzerorientierte Analysen

Der erste Schritt zur Ermittlung der Wirkung von Systemen ist in jedem Fall die Analyse der funktionalen Spezifikation. Sie beschreibt, zu welchem Zweck ein System entwickelt wurde, mit welchen Eingangsgrößen welche Ausgangsgrößen bestimmt werden und auf welche Weise das System agiert. Dazu gehört für die vorliegende Untersuchung auch der Grad der Kontrolle, die vom System ausgeübt wird.

Aus der funktionalen Spezifikation eines Systems oder einer Funktion ergeben sich in der Regel Fragen zum Einfluss des Systems auf seinen Wirkungsbereich. Diese Fragen werden als Forschungsfragen bezeichnet und bestimmen für die folgende Untersuchung, welche Effekte und Phänomene untersucht werden sollen. Bei der Formulierung der Forschungsfragen muss darauf geachtet werden, dass alle denkbaren Bereiche abgedeckt werden, auf die das System einen Einfluss haben könnte. Die Definition der Forschungsfragen und der zugehörigen Hypothesen selbst ist ein größtenteils intuitiver Vorgang, für den aber im Folgenden einige generelle Hinweise gegeben werden können.

Eine Art Checkliste wurde von Draskoczy u. a. (1998) vorgestellt. Sie soll sicherstellen, dass alle Bereiche der Verkehrssicherheit berücksichtigt werden. In ihrer ursprünglichen Form werden zehn Bereiche genannt, auf die die Einführung eines Systems einen Einfluss haben kann. Für die Untersuchung des Einflusses fahrzeugseitiger Systeme sind die folgenden Aspekte relevant:

Direkte Effekte auf den Nutzer: Ein direkter Einfluss ist eine veränderte Verteilung der Aufmerksamkeit für die unterschiedlichen Aspekte der Fahraufgabe des Nutzers oder eine unmittelbare Änderung der Fahraufgabe für den Fahrer, weil er durch informierende oder agierende Systeme unterstützt wird. Daraus kann folgen, dass der Verkehrssituation vor

dem eigenen Fahrzeug weniger Aufmerksamkeit gewidmet wird.

Indirekte, verhaltensanpassende Effekte auf den Nutzer: Verhaltensanpassungen sind Veränderungen im Verhalten der Nutzern, die aufgrund von Veränderungen im Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-System eintreten und die nicht unmittelbar aus der funktionalen Spezifikation des neu eingeführten Systems hervorgehen. Diese Verhaltensanpassungen können dabei sowohl positiv als auch negativ im Sinne der Verkehrssicherheit sein. Ein Beispiel ist die häufigere Benutzung des Blinkers bei der Nutzung von Spurhalteassistenten.

Indirekte, verhaltensanpassende Effekte auf Nichtnutzer: Ähnlich wie für die Nutzer können durch eine Veränderung des Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-Systems auch Verhaltensänderungen für Nichtnutzer eintreten. Diese Veränderungen resultieren in der Regel daraus, dass das Verhalten der Nutzer imitiert wird, und sind stark vom Durchdringungsgrad der neu eingeführten Systeme abhängig. Solche Effekte treten zum Beispiel auf, wenn FIS vor Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen warnen und der nachfolgende Verkehr erst aufgrund des zunächst unmotiviert erscheinenden Bremsens des ausgestatteten Fahrzeug die Überwachungsanlage bemerkt und dann seine Geschwindigkeit anpasst.

Modifikation der Interaktion zwischen Nutzern und Nichtnutzern: Veränderungen in der Interaktion zwischen Verkehrsteilnehmern können durch Systeme verursacht werden, die beispielsweise direkt in das Abstandsverhalten eingreifen oder die Wahrnehmung von anderen Verkehrsteilnehmern verändern (z. B. ACC - Adaptive Cruise Control oder Nachtsichtassistenten).

Veränderung der Unfallkonsequenzen: Diese direkteste Veränderung der Verkehrssicherheit wird in der Regel durch Einrichtungen passiver Sicherheit im Fahrzeug erreicht. Dabei verändert sich die Konsequenz eines Unfalls, z. B. durch eine Reduktion der auf die Passagiere wirkenden Kräfte. Im Fall aktiv regelnder Systeme kann auch die Aufprallgeschwindigkeit reduziert werden, z. B. durch Notbremsassistenten.

Veränderung der Risikoeinwirkung: Je länger eine Fahrt dauert, desto größer ist das potenzielle Unfallrisiko bei ansonsten gleichbleibenden Randbedingungen. Verändert ein System also die Aufenthaltszeit eines Verkehrsteilnehmers im Verkehrssystem, verändert sich dadurch direkt sein Gefährdung. Beispielsweise verändern Routenführungssysteme die Aufenthaltszeit oder die Verkehrsleistung durch die Wahl kürzerer oder schnellerer Routen direkt. Dabei kann als Nebeneffekt die Wahl anderer Straßentypen auftreten, die ein anderes Risiko aufweisen (vgl. auch Veränderung der Routenwahl).

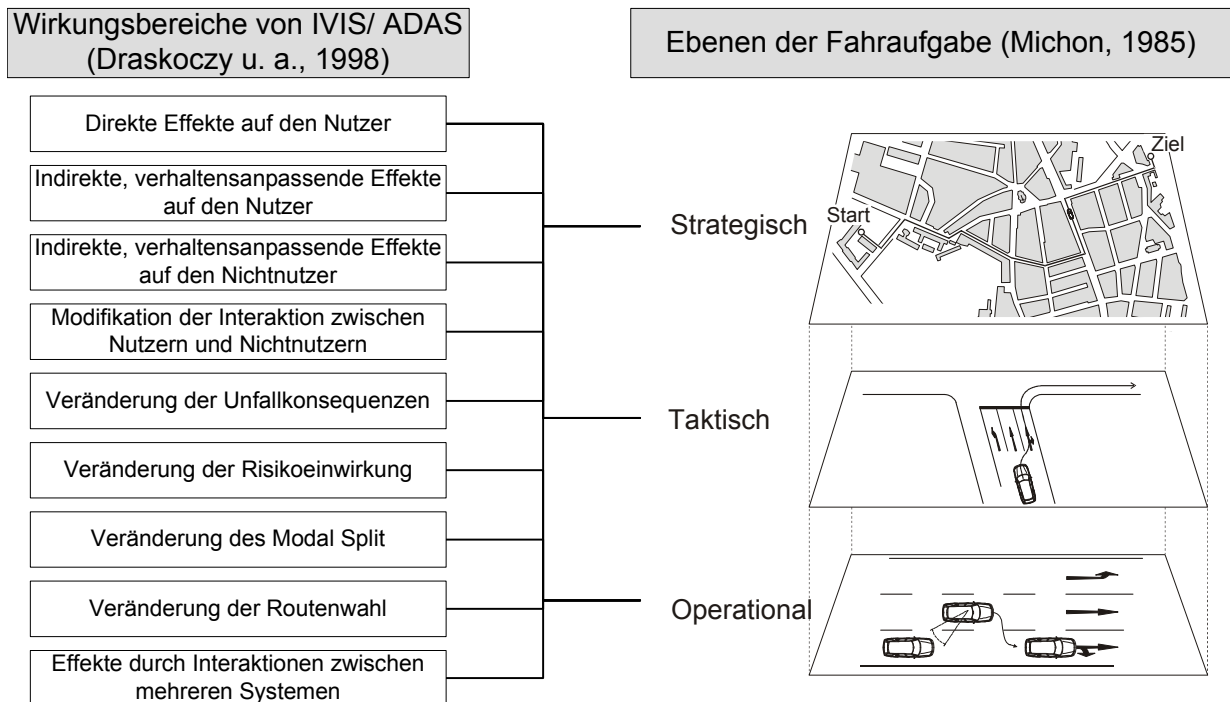


Abbildung 4.2.: Kombination der von Draskoczy u. a. (1998) definierten und hier erweiterten Wirkungsbereiche von FIS/ FAS auf die Verkehrssicherheit mit den drei Ebenen der Fahraufgabe nach Michon (1985).

Veränderung des Modal Split: Verändert sich der Modal Split, hat das einen unmittelbaren Einfluss auf die Sicherheit, weil jedes Verkehrssystem ein anderes spezifisches Risiko aufweist. Vorstellbar ist, dass der Pkw häufiger gewählt wird, weil ein wesentlicher Grund zur Nichtbenutzung durch ein neues System eliminiert wird (z. B. Parkplatzsuchhilfen oder Spurwechselassistenten, die Überholvorgänge oder das Einfahren an Autobahnauffahrten erleichtern).

Veränderung der Routenwahl: Verändert sich die Wahl von Routen, ist damit in der Regel eine Veränderung der Straßentypen verbunden, die unterschiedliche Risiken aufweisen. Diese Wirkungen treten vor allem bei Routenführungssystemen auf.

Effekte durch Interaktionen mehrerer Systeme: Sind gleichzeitig mehrere Systeme im Fahrzeug aktiv, dürften sich die Gesamtwirkungen nicht aus einer einfachen "Addition" der Einzelwirkungen ergeben. Vorstellbar ist auch, dass durch unter Umständen unkoordinierte Systeme gegensätzliche Hinweise an den Fahrer gegeben werden, deren Wirkung unklar ist. Beispielsweise dürfte die Wirkung von Spurhalteassistenten und Systemen zur Überwachung des „Toten Winkels“ für sich genommen andere Wirkungen haben, als eine

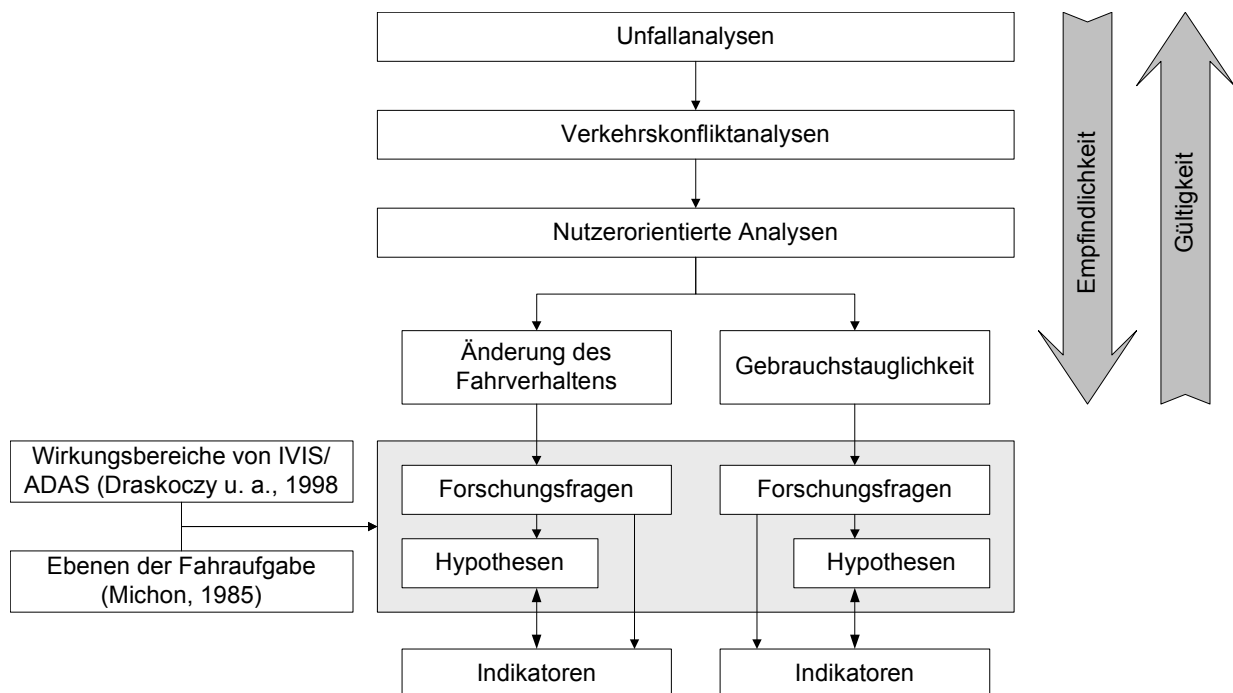


Abbildung 4.3.: Zusammenhang zwischen den drei Ebenen der Sicherheitsanalysen und der Identifizierung von Forschungsfragen und Hypothesen.

(u. U. unkoordinierte) Kombination beider Systeme. Dieser Effekt wurde von Draskoczy u. a. (1998) nicht genannt, vermutlich auch weil zum Zeitpunkt der Veröffentlichung FIS und FAS eher einzeln und nicht in Kombinationen in Fahrzeugen zu finden waren.

Die genannten Wirkungsbereiche erstrecken sich auf alle Aspekte der vom Nutzer zu bewältigenden Fahraufgabe. Michon (1985) unterteilt die Fahraufgabe in die strategische, taktische und operationale Ebene. Es ist sinnvoll, diese weit akzeptierte Beschreibung mit derjenigen von Draskoczy u. a. (1998) zu kombinieren (vgl. Abb. 4.2 auf der vorherigen Seite), um sinnvolle Forschungsfragen zu formulieren. Dabei werden für jeden Wirkungsbereich eines Systems die drei Ebenen sukzessive überprüft. Bei diesem Vorgehen ist es letztlich nicht relevant, welchem Bereich oder welcher Ebene eine Forschungsfrage zugeordnet wird, stattdessen soll die Methodik sicherstellen, dass alle Bereiche und Ebenen bedacht wurden.

Aus den festgelegten Forschungsfragen müssen im nächsten Schritt Hypothesen entwickelt werden, die statistisch testbar sind. Abbildung 4.3 stellt den Zusammenhang zwischen den drei Ebenen der Sicherheitsanalysen und der Identifizierung von Forschungsfragen und Hypothesen dar. Für die vorliegende Untersuchung wurden die Forschungsfragen und Hypothesen in die zwei Gruppen der Änderung des Fahrverhaltens und der Gebrauchstauglichkeit unterteilt, die mit unterschiedlichen Methoden analysiert werden.

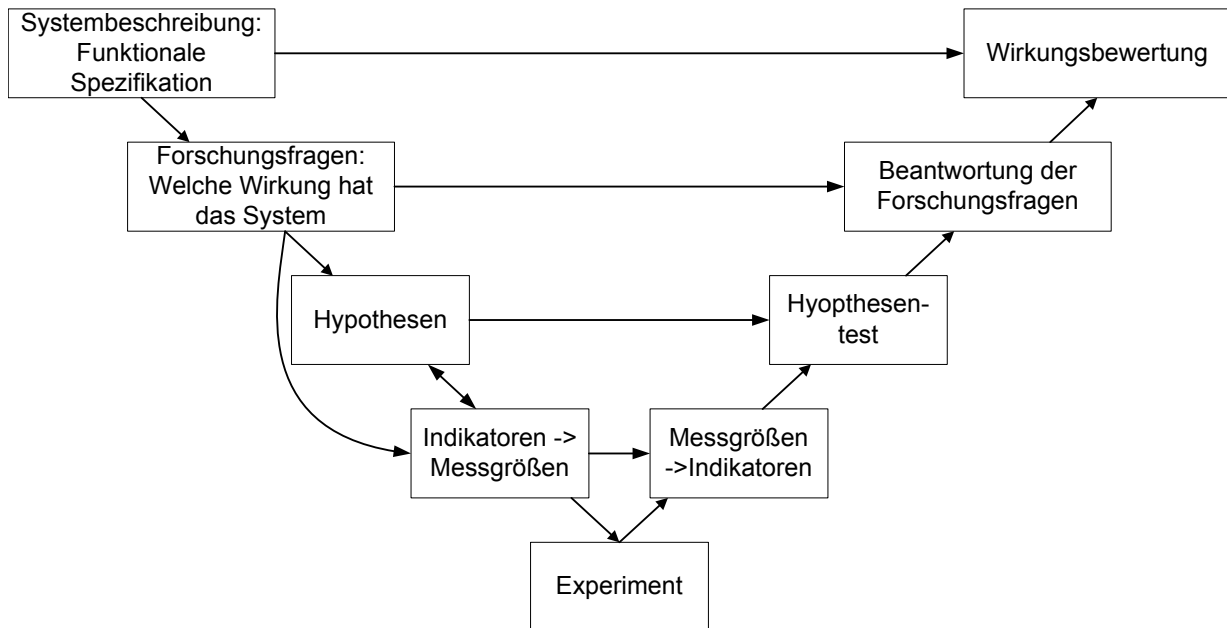


Abbildung 4.4.: Sequenz zu Bewertung der Wirkung von Systemen.

Diese Hypothesen enthalten in der Regel eine Aussage zu bestimmten Indikatoren und werden nach der Datenanalyse entweder verworfen oder bestätigt. Die jeweilige Nullhypothese besagt, dass das System keinen Einfluss auf einen bestimmten Indikator hat. Kann diese Hypothese verworfen werden, hat das System offensichtlich einen Einfluss, der dann weiter zu untersuchen und zu beschreiben ist.

Für jede entwickelte Hypothese muss mindestens ein Indikator gefunden werden, anhand dessen die Hypothese getestet werden kann. Die definierten Indikatoren (z. B. mittlere Geschwindigkeit innerorts \bar{v}_{IO}) werden dann in Messgrößen übersetzt, die im Experiment messbar sind. Diese Transformation beschreibt den zu messenden Wert (z. B. die Geschwindigkeit aus den fahrzeugseitigen Sensoren v_{CAN} , gelesen vom Fahrzeug CAN-BUS) und die Vorschrift zur Berechnung der Indikatoren (z. B. Korrektur der gemessenen Geschwindigkeitswerte um 3 %, um die Tachovoreilung zu eliminieren, dann Mittelung der Werte, die innerorts aufgenommen wurden: $\bar{v}_{IO} = \frac{0,97}{n} \sum_n v_{CAN}$). Abbildung 4.4 stellt den beschriebenen Ablauf graphisch dar.

Die Messbarkeit einer Messgröße kann dabei durch viele Randbedingungen erschwert oder gar unmöglich sein, beispielsweise, weil die entsprechende Messtechnologie noch nicht entwickelt ist, weil aus finanziellen Gründen entsprechende Messausrüstung nicht zur Verfügung steht, oder weil der vermutliche Erkenntnisgewinn in keinem tragbaren Verhältnis zum Erfassungsaufwand steht.

Die in dieser vorliegenden Arbeit entwickelte Methodik wurde mittlerweile auch für die Be-

wertung von Systemwirkungen in großangelegten Felduntersuchungen vorgeschlagen und validiert (Carsten u. a., 2008).

4.3. Forschungsfragen zum Einfluss des DWS auf die Verkehrssicherheit

Aus der zuvor beschriebenen Methodik ergeben sich für die Untersuchung des Einflusses des DWS auf die Verkehrssicherheit die folgenden Aspekte:

- Die funktionale Spezifikation beider System zeigt, dass sie den Fahrer auf der operationalen Ebene unterstützen, nämlich bei der Wahl seiner Geschwindigkeit.
- Indirekte, verhaltensanpassende Effekte für den Nutzer und Nichtnutzer treten in der Regel erst bei einer längerfristigen Exposition auf, die hier aufgrund der zur Verfügung stehenden Ressourcen nicht untersucht werden kann. Keines der Systeme modifiziert die Interaktion zwischen den Verkehrsteilnehmern. Veränderungen der Risikoeinwirkung sind kurzfristig nicht zu erwarten, ebenso wenig wie Veränderungen im Modal Split oder der Routenwahl. Veränderungen der Unfallkonsequenzen sind zwar kurzfristig vorstellbar, etwa bei einem Unfall des Versuchsfahrzeugs, jedoch können sie im Rahmen der vorliegenden Untersuchung aus naheliegenden Gründen nicht weiter verfolgt werden.

Daraus ergeben sich die folgenden Forschungsfragen, die sich auf direkte Effekte des Systems auf den Nutzer sowie auf Effekte der Interaktion zwischen den Systemen jeweils auf der operationalen Ebene konzentrieren:

- Forschungsfragen zum Fahrverhalten
 - Wie verändert sich die Geschwindigkeitswahl aufgrund der SLW?
 - Hat die SLW einen Einfluss auf die Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit?
 - Haben die Warnungen der HSW einen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl der Probanden?
 - Führen die Warnungen des HSW zu einem Erschrecken der Probanden, werden z. B. Gefahrbremsungen verursacht?
 - Sind die Wirkungen der Systeme je nach Streckencharakteristik unterschiedlich?

- Forschungsfragen zur Gebrauchstauglichkeit

- Entstehen für den Fahrer zusätzliche kognitive Belastungen durch die zusätzlichen Informationen und Warnungen der SLW und der HSW?
- Wie ist die Gebrauchstauglichkeit der SLW und der HSW?
- Verändert eine einmalige Nutzung der Systeme die subjektive Einschätzung von Nutzern?

Diese Forschungsfragen werden in den folgenden Abschnitten im Einzelnen erörtert, in Hypothesen übersetzt und entsprechende Indikatoren zugeordnet.

4.4. Hypothesen und Indikatoren zum Fahrverhalten

Der Großteil der Forschungsfragen zum Fahrverhalten bezieht sich auf eine Veränderung der Geschwindigkeit. Daraus können die folgenden Hypothesen entwickelt werden.

H_{01} : Die Geschwindigkeitsinformation der SLW hat keinen Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit. Der zu untersuchende Indikator ist die mittlere Geschwindigkeit, die von den Probanden frei gewählt wird. Dabei handelt es sich um die mittlere Geschwindigkeit aus unbeeinflussten Fahrtabschnitten, also solchen, bei denen der Proband in seiner Geschwindigkeitswahl nicht durch vorausfahrende Fahrzeuge oder ähnliches beeinflusst wird oder an Knotenpunkten wartet. Die aktuelle Geschwindigkeit wird vom CAN-BUS Comfort des Versuchsfahrzeuges gelesen und um 3 % reduziert, um die Tachovoreilung zu eliminieren (vgl. Abschnitt 5.2.2 auf Seite 55 ff. und insbesondere Tabelle 5.1 auf Seite 57). Die so korrigierten Werte werden dann nur für Abschnitte unbeeinflussten Fahrens ausgewertet.

H_{02} : Die optische Geschwindigkeitswarnung der SLW hat keinen Einfluss auf die Dauer der Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Der zu bestimmende Indikator ist die mittlere Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen zwischen $v = v_{Zul} + 6 \frac{km}{h}$ und $v = v_{Zul} + 20 \frac{km}{h}$. Dazu wird für die unbeeinflussten Streckenabschnitte aus den Protokolldateien des DWS der Beginn und das Ende der optischen Warnung extrahiert und die Dauer der Überschreitungen gemittelt.

H_{03} : Die optische Geschwindigkeitswarnung der SLW hat keinen Einfluss auf die Anzahl der Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Der zu bestimmende Indikator ist die mittlere Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen je km zwi-

schen $v = v_{Zul} + 6 \frac{km}{h}$ und $v = v_{Zul} + 20 \frac{km}{h}$. Dazu wird aus den Protokolldateien des DWS die Anzahl der optischen Warnungen je km Fahrtlänge für die unbeeinflussten Streckenabschnitte gebildet.

$H0_4$: Die akustische Geschwindigkeitswarnung der SLW hat keinen Einfluss auf die Anzahl der Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Der zu bestimmende Indikator ist die mittlere Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen je km über $v = v_{Zul} + 20 \frac{km}{h}$. Die Anzahl wird analog zu $H0_3$ aus den Protokolldateien des DWS bestimmt.

$H0_5$: Die Warnungen der HSW haben keinen Einfluss auf die lokale Geschwindigkeit an den Hot Spots. Der Indikator ist hier die mittlere Geschwindigkeit während der Warnung durch die HSW für die unbeeinflussten Streckenabschnitte. Als Geschwindigkeitswerte werden die selben wie für Hypothese $H0_1$ verwendet.

$H0_6$: Die Warnungen der HSW verursachen keine Gefahrbremungen. Der Indikator für eine Gefahrbremung ist dabei der Verlauf des Drucks im Bremssystem direkt nachdem die HSW eine Warnung ausgegeben hat. Der Druck im Bremssystem wird von CAN-Antrieb gemessen und der Verlauf für einen Zeitraum von 0 bis 2 Sekunden nach der Warnung analysiert.

$H0_7$: Die Charakteristik der Strecke hat keinen Einfluss auf das Geschwindigkeitswahlverhalten. Um diese Hypothese zu überprüfen, werden die Indikatoren, die für die Hypothesen $H0_1$ bis $H0_5$ bestimmt wurden, getrennt nach den in Abschnitt B auf Seite 191 definierten Streckenabschnitten ausgewertet.

4.5. Hypothesen und Indikatoren zur Gebrauchstauglichkeit

Im Gegensatz zu den Forschungsfragen des Fahrverhaltens, die sich relativ einfach in Hypothesen übersetzen lassen, ist die Formulierung von Hypothesen zur Gebrauchstauglichkeit komplexer, weil das Konzept der Gebrauchstauglichkeit schwieriger zu fassen ist.

Die DIN 9241-11 „Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit“ (DIN EN ISO 9241-11, 1999) definiert Gebrauchstauglichkeit als „das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effizient, effektiv und zufrieden stellend zu erreichen.“ Hierbei ist die „Effizienz“ definiert durch den „im Verhältnis zur Genauigkeit und Vollständigkeit eingesetzten Aufwand.“ „Effektivität“ ist

die „Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der Benutzer ein bestimmtes Ziel erreichen.“ „Zufriedenstellung“ bedeutet „die Freiheit von Beeinträchtigung und positive Einstellung gegenüber der Nutzung des Produktes.“

Der zentrale Aspekt ist in diesem Zusammenhang die Gestaltung der Nutzerschnittstelle, also einerseits der Interaktion zwischen Nutzer und System, andererseits das Design von Anzeige- und Bedieninstrumenten. Da beim Entwurf des DWS die maßgebenden Regelwerke für das Design von Instrumenten berücksichtigt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die Gebrauchstauglichkeit hinsichtlich der Darstellung der Warnung oder der Platzierung des Anzeigeinstruments nicht durch einen fehlerhaften oder schlechten Entwurf des Systems eingeschränkt ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei dem hier untersuchten System um eine prototypische Implementierung handelt, die noch nicht alle Aspekte eines serienreifen Produkts aufweisen kann. Daher sind Einstellmöglichkeiten durch den Fahrer in der untersuchten Version nicht vorgesehen, Adaptionen der Helligkeit des Display oder der akustischen Ausgabe wurde durch den bei den Tests mitfahrenden Operateur vorgenommen. Gegenstand der Bewertung ist daher die Ausgabe von optischen und akustischen Warnungen an den Fahrer.

Zur Untersuchung der o. g. Aspekte der Gebrauchstauglichkeit stehen verschiedenen Methoden zur Verfügung, deren Vor- und Nachteile in den folgenden Abschnitten im Hinblick auf die vorliegende Untersuchung diskutiert werden.

4.5.1. Effizienz: Beanspruchung der Nutzer

Durch die Nutzung des DWS werden neben Veränderungen im Fahrverhalten (Geschwindigkeitwahl, Beschleunigungsverhalten, etc.) auch Veränderungen im Fahrverhalten induziert. Dabei ist es von Interesse, ob sich die kognitive Arbeitsbeanspruchung (eng.: *mental workload*) des Fahrers durch das DWS verändert, bzw. ob der Fahrer in seiner Aufmerksamkeit für die Fahraufgabe, also den Aktivitäten, die der Fahrer ausführen muss, um die Fahrzeugsteuerung in Längs- und Querrichtung im Verkehr zu leisten (DIN EN ISO 17287, 2003), beeinträchtigt wird. Kognitive Arbeitsbeanspruchung entsteht beim Fahrer durch die Aufnahme und mentale Verarbeitung von Wahrnehmungen, also optischen, akustischen und haptischen Reizen. Da das DWS seine Hinweise optisch auf einem Display ausgibt, ist für die vorliegende Untersuchung die kognitive Mehrbelastung des Fahrers durch diese optischen Reize von besonderem Interesse. Führt das Driver Warning System zu einer starken Ablenkung des Fahrers, könnte der Gedanke konterkariert werden, die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Tijerina (2000) beschreibt drei Klassen zur Unterscheidung von Ablenkungseffekten, die die Fahr- oder Verkehrssicherheit beeinflussen:

Generelle Unaufmerksamkeit tritt auf, wenn der Fahrer seinen Blick von der Straße bzw.

der Verkehrssituation abwendet. Inwieweit damit die Objekt- bzw. Situationserkennung und damit die Fahrzeugführung beeinträchtigt wird, hängt von der Häufigkeit und der Dauer ab, mit denen der Fahrer nicht auf die Straße blickt (Fairclough u. a., 1993). Zusätzlich spielt die Blickrichtung eine Rolle, die in Abhängigkeit vom Montageort der Anzeige variiert (Lamble u. a., 1999; Summala u. a., 1996). Fahrer sind sich in der Regel bewusst, dass sie ein Risiko eingehen, indem sie ihre Aufmerksamkeit von der Verkehrssituation abwenden (Piechulla u. a., 2003) und sind bestrebt, die entsprechenden Blickdauern kurz, etwa im Bereich um 1,25 bis 1,6 s zu halten (Rockwell, 1988; Wikman u. a., 1998).

Selektive Unaufmerksamkeit ist die Folge kognitiver Arbeitsbeanspruchung, die beispielsweise durch die Benutzung von Mobiltelefonen steigt und zu einer reduzierten Objekt- und Situationserkennung führen kann (Haigney und Westerman, 2001; Strayer und Johnston, 2001). Dadurch kann sich das Sichtfeld reduzieren, in dem bewusst wahrgenommen wird (Miura, 1986), was wiederum zur Folge hat, dass Reize im peripheren Sichtbereich weniger gut wahrgenommen werden (vgl. z. B. Chan und Courtney, 1998; Jahn u. a., 2005; Nunes und Recarte, 2002).

Biomechanische Einflüsse sind die dritte Klasse ablenkender Effekte. Hierbei handelt es sich um Ablenkung, die entsteht, wenn der Fahrer seine Sitzposition verlassen muss bzw. seine Hände vom Lenkrad nimmt, um Einstellungen an Systemen vorzunehmen, z. B. bei der Bedienung eines Navigationsgerätes oder ähnlichem (Nakayama u. a., 1999).

Generelle Unaufmerksamkeit kann untersucht werden, indem das Blickverhalten von Fahrern analysiert wird, wobei z. B. die Dauer und die Häufigkeit von Blicken auf das Display des Fahrerinformationssystems erhoben werden. Solche Untersuchungen liefern gute und belastbare Daten zum tatsächlichen Blickverhalten der Fahrer, benötigen aber entweder hohe Investitionen in entsprechende Messgeräte (sog. Eye- oder Headtracker, z. B. von Seeing Machines (2006)) oder umfangreiche manuelle Auswertungen von Videosequenzen. Daten über die kognitive Arbeitsbeanspruchung, die unter anderem eine Folge zusätzlicher optischer, akustischer oder haptischer Informationen sein kann, sind jedoch nicht durch solche Beobachtungsmethoden zugänglich.

Biomechanische Einflüsse treten durch das Driver Warning System nicht auf, weil das Display einerseits blendfrei im gut sichtbaren Bereich montiert ist und andererseits während der Fahrt keine Einstellungen am System vorzunehmen sind.

Damit bleibt als Untersuchungsgegenstand die Klasse der selektiven Unaufmerksamkeit, zu deren Bewertung die kognitive Arbeitsbeanspruchung analysiert wird.

Methoden zur Bewertung der kognitiven Arbeitsbeanspruchung

Die kognitive Arbeitsbeanspruchung beim Fahren beeinflusst vor allem die Wahrnehmungsfähigkeit. Bei einer hohen Arbeitsbeanspruchung können sich beispielsweise Reaktionszeiten erhöhen (vgl. z. B. Miura, 1986; Recarte und Nunes, 2003). Die visuelle Aufmerksamkeit wird als eine Haupteinflussgröße für sicheres Fahren, Fahrzeugkontrolle und Ereigniserkennung beschrieben (Jahn u. a., 2005). Damit sind für Untersuchungen, die sich mit dem Einfluss von Fahrerinformationssystemen auf das Fahrerverhalten und damit auf die Verkehrssicherheit befassen, solche Methoden anwendbar, die sowohl visuelle Aufmerksamkeit als auch kognitive Arbeitsbeanspruchung bewerten.

Zur Beurteilung der kognitiven Arbeitsbeanspruchung werden in der Regel Methoden verwendet, die entsprechend der folgenden vier Gruppen klassifiziert werden können: (Cherri u. a., 2005; Johansson u. a., 2005; de Waard, 1996; Wierwille und Eggemeier, 1993):

- Untersuchung der Leistungsfähigkeit bei der Erfüllung der Primäraufgabe,
- Untersuchung der Leistungsfähigkeit bei der Erfüllung einer Sekundäraufgabe,
- physiologische Methoden und
- Selbsteinschätzungen, oder nach de Waard (1996): Methoden der Eigenbewertung, bei denen die Versuchspersonen eine Einschätzung Ihrer eigenen Leistungsfähigkeit geben.

Methoden, die in die Gruppe der Analyse der Leistungsfähigkeit bei der Erfüllung der Primäraufgabe gehören, untersuchen anhand von Daten über den Fahrtablauf, inwieweit der Fahrer in der Lage ist, die primäre Fahraufgabe zu bewältigen. Kriterien sind Informationen über Fahrzeuglängs- und -querregelung, z. B. die Standardabweichung der lateralen Position (SDLP: Standard Deviation Lateral Position), die Standardabweichung der Lenkbewegungen (SDSTW: Standard Deviation Steering Wheel Movements) oder die von Nakayama u. a. (1999) beschriebene Lenkentropie und darauf aufbauende Methoden (vgl. z. B. Markkula und Engström (2006)), Zeitlücken zum vorausfahrenden Fahrzeug, die Zeit bis zur Kollision (Time to Collision/ TTC) o. ä. sein, die die Beurteilung der Leistungsfähigkeit auf der operationalen Ebene (vgl. auch Abbildung 4.2 auf Seite 33) erlauben (DIN EN ISO 17287, 2003; de Waard, 1996). Eine Untersuchung der lateralen Position, also des Spurhaltens durch die Versuchspersonen setzt aber entweder automatische optische Systeme oder hochgenaue Ortungssysteme in Verbindung mit ebensolchen digitalen Karten zur Positionsbestimmung voraus, die nicht zur Verfügung stehen. Eine Analyse des Lenkverhaltens wurde für die vorliegende Untersuchung durchgeführt, wozu das von Markkula und Engström (2006) vorgeschlagene Verfahren verwendet wurde. Für die Untersuchung der Arbeitsbelastung wird von Markkula und Engström (2006) ein Schwellwert von

1,5° als Grenze für die Untersuchung der visuellen bzw. kognitiven Ablenkung genannt. Das heißt, dass der verwendete Lenkwinkelsensor eine bessere Auflösung als 1,5° aufweisen muss, um die eine kognitive Arbeitsbelastung zu untersuchen zu können, bei einer gröberen Auflösung kann die visuelle Ablenkung analysiert werden. Da der im Testfahrzeug verbaute Lenkwinkelsensor eine maximale Auflösung von 1,5° aufweist, wurde die Methode nur für Bestimmung der in Abschnitt 4.5.2 auf Seite 44 beschriebenen visuellen Ablenkung verwendet werden.

Die zweite Methodengruppe basiert darauf, dass die Fahraufgabe in der Regel nicht die komplette mentale Leistungsfähigkeit eines Fahrers beansprucht. Nutzt die Versuchsperson während der Fahrt ihre verbleibende Kapazität, um eine Sekundäraufgabe zu bearbeiten, können aus der Leistung bei der Bearbeitung dieser Aufgabe Rückschlüsse auf die Beanspruchung durch die Primäraufgabe getroffen werden. Obwohl die von Green (1994) vorgelegte Analyse von Methoden zur Bewertung der Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Fahrerinformationssystemen Sekundäraufgaben als wenig geeignet beschreibt, zeigen neuere Untersuchungen, dass sehr wohl verlässliche Aussagen getroffen werden können (z. B. Jahn u. a., 2005). Insbesondere die von Green beschriebenen Nachteile einer nicht einheitlich verwendeten Methodik, bzw. die Verwendung nicht standardisierter Objekte bzw. Reize wurden in den vergangenen zehn Jahren weitestgehend überwunden (vgl. Harms und Patten, 2003; Jahn u. a., 2005; Olsson, S. and Burns, P., 2000; Recarte und Nunes, 2003). In Verbindung mit den Erkenntnissen von Miura (1986) folgt, dass eine Sekundäraufgabe, die die Reizerkennung im peripheren Sichtbereich nutzt, gute Rückschlüsse auf die kognitive Arbeitsbeanspruchung des Fahrers zulassen.

Ein Nachteil von Untersuchungen mit Sekundäraufgaben kann sein, dass sie unter Umständen die Leistung der Versuchsperson bei der Erfüllung der Primäraufgabe beeinflussen. Daher müssen Sekundäraufgaben gut an die Primäraufgabe angepasst sein. Dann kann davon ausgegangen werden, dass die Leistung bei der Erfüllung der Sekundäraufgabe umgekehrt proportional zur Leistung bei der Erfüllung der Primäraufgabe ist (Jahn u. a., 2005). In der Literatur werden unterschiedliche Sekundäraufgaben beschrieben, häufig wird der sogenannten „Peripheral Detection Task“ verwendet (vgl. den folgenden Abschnitt „Peripheres Erkennen“, de Waard (1996) gibt einen guten Überblick).

Die Untersuchung physiologischer Eigenschaften der Testpersonen, z. B. der Herzfrequenz, der Variabilität der Herzfrequenz oder der Respiration, der Hirnaktivitäten mit Hilfe von Elektroenzephalogrammen (EEG) oder auch die Kopf- und Augenbewegungen erlauben in der Regel verlässliche Aussagen zur mentalen Arbeitsbeanspruchung (vgl. z. B. Jahn u. a., 2005; de Waard, 1996), obwohl gerade zur Aussagefähigkeit der Variabilität der Herzfrequenz auch kritische Veröffentlichungen vorliegen (Nickel und Nachreiner, 2003; Nickel u. a., 2003). Der gerätetechnische Aufwand zur Untersuchung physiologischer Attribute ist allerdings hoch und kostenintensiv und verlangt nach fachkundiger Analyse durch medizinisches Personal, das für die vorliegende

Untersuchung nicht zur Verfügung stand.

Subjektive Methoden zur Bewertung der kognitiven Arbeitsbelastung basieren auf in der Regel mehrdimensionalen Fragen. Sie sind weit verbreitet, häufig wird der NASA Task Load Index (NASA-TLX, Hart und Staveland, 1988; NASA Human Performance Research Group, 2003), die Subjective Workload Assessment Technique (SWAT, Reid und Nygren, 1988) oder der modifizierte Cooper-Harper Test (MCH, Wierwille und Casali, 1983) verwendet. Die grundsätzliche Eignung dieser subjektiven bzw. selbstberichtenden Methoden zur Beurteilung der kognitiven Arbeitsbelastung wird übereinstimmend bestätigt (u. a. Cherri u. a., 2005; Eggemeier und Wilson, 1991; Hancock und Meshkati, 1988; Johansson u. a., 2005; Meshkati u. a., 1989), bei welcher Art von Untersuchung welche Methode vorzuziehen ist, wird dagegen kontrovers diskutiert (Hill u. a., 1992; Nygren, 1991; Rubio u. a., 2004; Wierwille und Eggemeier, 1993).

Da der Schwerpunkt dieser Arbeit nicht auf der Evaluierung und Validierung komplexer psychologischer Untersuchungen liegt, werden etablierte und effizient anzuwendende Methoden bevorzugt, die verlässliche Aussagen zur kognitiven Arbeitsbeanspruchung der Versuchspersonen zulassen.

Peripheres Erkennen

Untersuchungen zum Fahrerverhalten beschreiben oder nehmen implizit an, dass die Aufmerksamkeit der Testpersonen auf die Stelle konzentriert ist, auf die sie blicken (u. a. Hughes und Cole, 1986; Summala u. a., 1996). Summala u. a. (1996) beschreibt, dass Fahrzeugführer auch im peripheren Sichtbereich Reize erfassen und dass diese Fähigkeit mit steigender Erfahrung und Routine steigt. Außerdem wird mit steigender mentaler Arbeitsbelastung der individuelle Sichtbereich enger, d. h. dass Informationen im peripheren Sichtbereich weniger gut wahrgenommen werden und sich eine Art „Tunnelblick“ einstellt.

Unter Ausnutzung dieser Gegebenheiten können Untersuchungen zur kognitiven Arbeitsbeanspruchung mit Hilfe des sogenannten „Peripheral Detection Task“ (PDT) durchgeführt werden.

Beim hier verwendeten PDT wurden in das periphere Sichtfeld der Versuchspersonen Lichtreize eingeblendet. Die Aufgabe der Versuchsperson bestand darin, auf den Lichtreiz zu reagieren und die Erkennung durch das Drücken eines Knopfes zu quittieren. Aus der Reaktionszeit können Rückschlüsse auf die kognitive Arbeitsbeanspruchung getroffen werden. Der PDT wurde bereits in verschiedenen Untersuchungen erfolgreich verwendet und validiert, um die kognitive Arbeitsbeanspruchung bei unterschiedlichen Fragestellungen zu bewerten (u. a. Jahn u. a., 2003, 2005; Lamble u. a., 1999; Olsson, S. and Burns, P., 2000; Patten u. a., 2004, 2006; Ranney u. a., 2005; Tornros und Bolling, 2006).

Um eine möglichst hohe Vergleichbarkeit mit Ergebnissen ähnlicher Untersuchungen errei-

chen zu können, wurde ein Versuchsaufbau gewählt, der dem von Jahn u. a. (2005) und Olsson, S. and Burns, P. (2000) ähnelt. Als Lichtreiz wurden rote LED verwendet.

Im Rahmen der Voruntersuchung (vgl. Abschnitt 6.1 auf Seite 63) wurde durch die Probanden teilweise berichtet, dass sowohl das rote Licht von Signalanlagen, als auch Bremslichter vorausfahrender Fahrzeuge zu einem reflexartigen Drücken des Knopfes führte. Dies wird auch von Jahn u. a. (2005) berichtet und ist ein Indiz dafür, dass der hier verwendete Versuchsaufbau des PDT gut an die primäre Aufgabe der Fahrer angepasst ist, weil er Fertigkeiten nutzt, die ein Fahrer ohnehin gebraucht.

In einigen Veröffentlichungen wird der PDT als Standardmethode zur Beurteilung der Arbeitsbeanspruchung von Fahrern durch Fahrerinformations- und -assistenzsysteme vorgeschlagen (z. B. von Engström u. a., 2005b; Harms und Patten, 2001, 2003).

Aufgrund dieser Überlegungen werden die folgenden Hypothesen formuliert, die die Arbeitsbelastung der Probanden durch das DWS adressieren:

H_{08} : Die Informationen und Warnungen der SLW haben keinen Einfluss auf die kognitive Arbeitsbelastung. Die Indikatoren für diese Hypothese sind die Trefferquoten und die Reaktionszeiten im PDT für unbeeinflusste Streckenabschnitte, der für die Messung der kognitiven Arbeitsbelastung verwendet wurde.

H_{09} : Die Informationen und Warnungen der HSW haben keinen Einfluss auf die kognitive Arbeitsbelastung. Für diese Hypothese werden die selben Indikatoren verwendet wie für Hypothese H_{08} .

4.5.2. Effektivität: Erfüllung der Fahraufgabe

Eine wesentliche Größe zur Beschreibung, wie stark ein Fahrer in der Erfüllung seiner Fahraufgabe durch kognitive oder visuelle Ablenkungen (also z. B. durch ein FIS/ FAS) beeinträchtigt wird, ist sein Spurhaltevermögen (z. B. Glaser u. a., 2005). Die Ermittlung des Spurhaltevermögens erfolgt üblicherweise durch die Messung der lateralen Position des Fahrzeugs zwischen den Randmarkierungen der Fahrstreifen. Dazu ist ein hoher apparativer Aufwand notwendig, der nicht in jedem Fall zur Verfügung steht. In der Vergangenheit wurden verschiedene Verfahren vorgeschlagen, die - statt direkt die Position des Fahrzeugs zwischen den Fahrstreifenmarkierungen zu ermitteln - indirekt anhand der Lenkbewegungen der Probanden auf deren Ablenkungen schließen lassen. Kritik an den vorgestellten Verfahren (z. B. Glaser u. a. (2005) an der Lenkentropie von Nakayama u. a. (1999)) führten zu veränderten Methoden, z. B. der hier verwendeten Methode der Ermittlung der Lenkwinkelumkehrate (Markkula und Engström, 2006).

Die Lenkwinkelumkehrrate SWRR (von eng.: *Steering Wheel Reversal Rate*) beschreibt, wie häufig pro Zeiteinheit eine Änderung der Lenkwinkelrichtung vorgenommen wird. Dabei ist die absolute Größe des Lenkwinkels, also der Drehwinkel des Lenkrades, zwischen zwei Lenkwinkelrichtungsänderungen dafür maßgebend, ob die kognitive oder die visuelle Beanspruchung des Nutzers ermittelt wird. Markkula und Engström (2006) beschreiben einen Grenzwert zwischen 1° und 3° als Übergang zwischen kognitiver und visueller Beanspruchung.

Der Lenkwinkelsensor des Versuchsfahrzeugs, dessen Daten mit einer Frequenz von 10 Hz aufgezeichnet werden, weist eine Auflösung von $1,5^\circ$ auf, so dass die Untersuchung der zusätzlichen visuellen Beanspruchung durch das DWS ohne weitere Datenaufbereitung erfolgen kann. Als Hypothese für die Beantwortung der Forschungsfrage nach den zusätzlichen Belastungen kann daher formuliert werden:

H_{010} : Die Informationen und Warnungen der SLW verursachen keine zusätzliche visuelle Ablenkung. Der zu bestimmende Indikator ist die Lenkwinkelumkehrrate nach Markkula und Engström (2006), die für Abschnitte unbeeinflussten Fahrens bestimmt wird. Dazu wird vom CAN-Antrieb des Versuchsfahrzeugs die Stellung des Lenkrades gelesen und die Umkehrpunkte je km Streckenlänge gezählt (vgl. Tabelle 5.1 auf Seite 57).

H_{011} : Die Informationen und Warnungen der HSW verursachen keine zusätzliche visuelle Ablenkung. Für diese Hypothese werden die selben Indikatoren verwendet wie für Hypothese H_{010} .

4.5.3. Zufriedenstellung: Nutzerakzeptanz

Die Zufriedenstellung eines Nutzers beim Gebrauch eines Systems ist eine rein subjektive Größe und kann nur durch den Nutzer selbst beurteilt werden. Daher sind Methoden zur Bewertung der Zufriedenstellung in der Regel Methoden der Eigenbewertung.

Zur Bewertung der Nutzerakzeptanz gibt es bislang keine Methoden, die standardisiert in Untersuchungen für FIS/ FAS verwendet werden. Eine seit ihrer Veröffentlichung 1996 häufig angewendete Methode ist die von Van der Laan u. a. (1997) vorgeschlagene zweidimensionale Skala „Usefulness/ Satisfaction“, die aus einer Likert Skala mit 9 Items besteht (vgl. Abbildung 4.5 auf der nächsten Seite). Sie wurde validiert und in umfangreichen Studien verwendet, um die Nutzerakzeptanz vornehmlich von FIS/ FAS zu evaluieren (z. B. von Adell u. a., 2008; Creaser u. a., 2007; Donmez u. a., 2008; van Driel u. a., 2007), aber ebenso zur Bewertung anderer Systeme (Amiama u. a., 2008).

4. Entwicklung der Bewertungsmethodik

Bitte beurteilen Sie jetzt das System. Lesen Sie hierfür aufmerksam jedes Wortpaar und machen Sie jeweils ein Kreuz pro Zeile.

1	Nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nutzlos
2	Angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unangenehm
3	Schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gut
4	Nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nervig
5	Effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnötig
6	Ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Erfreulich
7	Hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wertlos
8	Nicht Wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wünschenswert
9	Aktivierend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Einschläfernd

Abbildung 4.5.: Fragebogen zur Erfassung der Akzeptanz nach Van der Laan u. a. (1997) in der Übersetzung von Kondzior (1997)

Die beiden Dimensionen der Skala sind „Brauchbarkeit“ und „Zufriedenstellung“ (eng: *usefulness* und *satisfaction*). Dabei werden die Aspekte der praktischen Systemnutzung anhand der Brauchbarkeit bewertet, die sich aus den Antworten auf die Items 1, 3, 5, 7 und 9 errechnet (nützlich-nutzlos, schlecht-gut, effizient-unnötig, hilfreich-wertlos, aktivierend-einschläfernd), während die Annehmlichkeit des Systems anhand der Zufriedenstellung bewertet wird und aus den Antworten auf die Items 2, 4, 6 und 8 ermittelt wird (angenehm-unangenehm, nett-nervig, ärgerlich-erfreulich, nicht wünschenswert-wünschenswert). Die Bewertungsrichtung der Items 3, 6 und 8 sind dabei umgekehrt, um so nicht verlässliche Antworten einfacher identifizieren zu können. Der Wertebereich beider Dimensionen reicht von -2 bis +2. Die Skala wurde ursprünglich in holländischer Sprache verfasst, es stehen aber auch englische, deutsche und schwedische Übersetzungen zur Verfügung, deren Verlässlichkeiten jeweils anhand von Cronbachs α überprüft wurden (Cronbach, 1951). Für die vorliegende Untersuchung ergab sich Cronbachs α zu mindestens 0,792, in der Regel zu über 0,85. Sie liegen damit deutlich über dem Mindestwert von 0,65 für eine ausreichende Verlässlichkeit.

Die Bewertung der Nutzerakzeptanz kann sowohl vor als auch nach dem Experiment durchgeführt werden. In diesem Fall kann die Veränderung der subjektiven Bewertung durch die Nutzung des Systems untersucht werden. Damit sind Aussagen möglich, ob die Erwartung der Probanden an das System erfüllt, übertroffen oder enttäuscht wurden. Daraus lassen sich wichtige Hinweise zum Systementwurf ziehen. Daher werden für die vorliegende Untersuchung die folgenden Hypothesen formuliert:

$H0_{12}$: Die Nutzung der SLW verändert die subjektive Bewertung des Systems nicht. Dazu wird für beide Systeme vor und nach der Testfahrt die Einschätzung der Probanden erhoben und die Werte zur Brauchbarkeit und zur Zufriedenstellung verglichen.

$H0_{13}$: Die Nutzung der HSW verändert die subjektive Bewertung des Systems nicht. Für diese Hypothese werden die selben Indikatoren verwendet wie für Hypothese $H0_{12}$.

4.5.4. Globale Bewertung der Gebrauchstauglichkeit

Neben der Bestimmung der Gebrauchstauglichkeit eines Systems durch die Bewertung der drei Aspekte Effizienz, Effektivität und Zufriedenstellung der Nutzer gibt es weitere Methoden, die die Gebrauchstauglichkeit als Ganzes bestimmen. Dies sind in der Regel fragebogenbasierte Methoden, die die subjektiven Einstellungen von Nutzern nach einer Nutzung des Systems erheben und aus den Antworten auf standardisierte Fragen Werte für die Gebrauchstauglichkeit errechnen. Als Ergänzung zu den in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Untersuchungen soll eine Bewertung der Gesamt-Gebrauchstauglichkeit durchgeführt werden, um so Vergleichswerte zu den Einzelwerten der Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung der Nutzer zu erhalten. Zudem wurden in unterschiedlichen Teilprojekten von PReVENT ebenfalls Untersuchungen zur globalen Gebrauchstauglichkeit durchgeführt, womit die Möglichkeit besteht, einen Vergleich zwischen dem hier untersuchten DWS und anderen Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen durchzuführen.

Da die globale Gebrauchstauglichkeit des prototypischen DWS eine zusätzliche Information darstellt, wurde bei der Auswahl der Bewertungsmethode hoher Wert auf eine einfache und effiziente Anwendbarkeit sowohl für die Versuchspersonen als auch für die spätere Datenauswertung gelegt. Als Hilfe für die Auswahl möglicher Methoden stellt www.usabilitynet.org (UsabilityNet, 2003) eine Liste zur Verfügung, aus der mit Hilfe von Angaben zu den zur Verfügung stehenden Ressourcen, zur Verfügbarkeit potenzieller Nutzer, je nach Kompetenz der Bewerter und anhand des Systemstadiums passende Methoden ausgewählt werden können. Die Website entstand im Rahmen eines von der Europäischen Union geförderten Projekts mit gleichem Namen. Entsprechend der nur eingeschränkt zur Verfügung stehenden Ressourcen werden für die Evaluierung bereits bestehender Systeme Methoden der „Subjektiven Bewertung“ vorgeschlagen. Die explizit aufgeführten, allesamt Fragebogen basierte Methoden sind

SUMI Software Usability Measurement Inventory der Human Factors Research Group (2006)

WAMMI Website Analysis and MeasureMent Inventory von Kirakowski, J. (2005)

SUS System Usability Scale von Brooke (1996)

QUIS Questionnaire for User Interaction Satisfaction von Harper, B. and Norman, K. L. and Slaughter, L. and Shneiderman, B. (2006)

USE Usefulness, Satisfaction, Ease of use von Lund (2001)

CSUQ Computer System Usability Questionnaire, basierend auf Lewis (1995)

IsoNorm nach Prümper und Anft (1993) bzw. Prümper (1997) und

IsoMetrics von Willumeit u. a. (1996).

Unter den zur Auswahl stehenden Methoden sind einige explizit auf die Bewertung von Softwareergonomie ausgerichtet und kaum für die Bewertung eines Fahrerinformationssystems anpassbar (z. B. SUMI, WAMMI, IsoNorm oder IsoMetrics) und umfassen teilweise sehr viele Fragen (z. B. IsoNorm 36 items, Isometrics sogar 89 items). Die meisten der Verfahren sind nicht frei verfügbar und erfordern eine teilweise kostspielige Lizenzierung. Um eine möglichst hohe Vergleichbarkeit mit den Untersuchungen in PReVENT zu gewährleisten (Molich u. a., 2004), wurde die selbe Methode verwendet, der System Usability Scale von Brooke (1996).

Der System Usability Scale Der 1996 von John Brooke vorgeschlagene System Usability Scale ist ein zehn Fragen umfassendes System zur Bestimmung der Gebrauchstauglichkeit, das Antworten auf fünfstufigen Likert-Skalen erfordert, vgl. Abbildung 4.6 auf der nächsten Seite). Die Fragen sind so offen gehalten, dass eine Untersuchung unterschiedlichster Systeme möglich ist. Bei der Entwicklung des SUS wurden aus 50 potenziellen Fragen zur Benutzung eines System diejenigen ausgewählt, die bei einer Voruntersuchung die extremsten Antworten hervorgerufen hatten. Bei der Auswahl wurden jeweils fünf Fragen berücksichtigt, die zu extrem positiven („I strongly agree.“) bzw. negativen („I strongly disagree“) Antworten führten. Brooke gibt eine hohe Interkorrelation für die ausgewählten Fragen von 0,7 bis 0,9 an.

Der System Usability Scale wird in verschiedenen Untersuchungen verwendet (z. B. in Backhaus, 2004; Fricke u. a., 2000; Grün u. a., 2005; Müller u. a., 1999; Molich u. a., 2004), allerdings konnten keine Hinweise zu einer Validierung gefunden werden. Aus diesem Grund wurde die Reliabilität des SUS mit Hilfe von Cronbachs α (vgl. Abschnitt 7.2.1 auf Seite 78) überprüft ($\alpha = 0,652$ für die SLW, $\alpha = 0,791$ für die HSW, Mindestwert für $\alpha = 0,65$). Auch Tullis und Stetson (2004) empfehlen unter den frei verfügbaren Methoden den SUS als das am besten geeignete Verfahren.

Die Antworten dieser Fragen ergeben anschließend anhand einer Berechnungsvorschrift einen SUS-Wert zwischen 0 und 100. „0“ bedeutet hier, dass der Benutzer die Bedien- und Erlernbar-

		stimmt überhaupt nicht			stimmt völlig	
1	Ich denke, dass ich das System gerne regelmäßig nutzen würde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Ich habe das System als unnötig kompliziert empfunden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Ich fand das System einfach bedienbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Ich denke, dass ich die Unterstützung eines Fachmanns benötige, um das System zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Ich finde, dass die Funktion gut eingebunden ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Ich denke, es gibt zu viele Unstimmigkeiten im System.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Ich glaube, dass die meisten Menschen die Nutzung des Systems schnell erlernen können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Ich habe die Bedienung des Systems als sehr umständlich empfunden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Ich hatte das Gefühl, mit dem System sehr sicher umgehen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Ich musste viel lernen, bevor ich mit dem System gut umgehen konnte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 4.6.: Fragen des System Usability Scale nach Brooke (1996) in der verwendeten deutschen Übersetzung. Die Reliabilität (Cronbachs α) wurde zu 0,652 (SLW), bzw. zu 0,791 (HSW) errechnet.

keit des Evaluationsgegenstandes als sehr ungenügend empfand, „100“ bedeutet, dass er damit sehr zufrieden war.

H_{014} : Die SLW weist eine hohe Gebrauchstauglichkeit auf. Der zu erhebende Indikator ist der SUS nach der Testfahrt.

H_{015} : Die HSW weist eine hohe Gebrauchstauglichkeit auf. Für diese Hypothese werden die selben Indikatoren verwendet wie für Hypothese H_{014} .

4.6. Untersuchungsdesign und Statistik

Zur Untersuchung des Einflusses eines Systems auf verändertes Verhalten stehen grundsätzlich zwei Konfigurationen für die Probanden zur Verfügung: Eine Untersuchung mit zwei Gruppen

(Kontroll- und Untersuchungsgruppe) und einer Untersuchung mit einer Gruppe, jedoch mit Messwiederholung.

Bei Untersuchungen mit Kontrollgruppen werden zwei Kollektive von Probanden verwendet, von denen ein Kollektiv mit dem System, das andere ohne das System fährt. Der Einfluss des Systems auf das Fahrverhalten wird dann ermittelt, indem die Werte der beiden Gruppen miteinander verglichen werden. Hierbei muss beachtet werden, dass der Anteil der unsystematischen Variation in den Daten relativ groß sein kann, dass also ein Teil der Unterschiede im Verhalten zwischen den beiden Gruppen nicht alleine auf das System, sondern auf unterschiedliches Verhalten von Probanden zurückzuführen ist. Um den Anteil der unsystematischen Variation zu verringern, also die gleiche statistische Teststärke zu erreichen, muss die Stichprobe ausreichend groß gewählt werden. Desweiteren müssen für beide Gruppen möglichst „gleichartige“ Probanden gefunden werden.

Bei Untersuchungen mit Messwiederholung fahren alle Probanden sowohl mit als auch ohne System. Der Einfluss des Systems kann dann aus den Unterschieden der Daten aus den beiden Fahrten bestimmt werden. Der Vorteil von Untersuchungen mit Messwiederholung ist die kleinere notwendige Stichprobengröße, weil nur die Daten derselben Probanden miteinander verglichen werden und somit die Varianz innerhalb der Gruppe kleiner ist. Problematisch sind dagegen potenzielle Lern- oder Gewöhnungseffekte, die sich zwischen den beiden Messungen einstellen. Um das zu kompensieren, kann die Gruppe der Probanden in zwei Untergruppen geteilt werden, von denen die erste die Fahrt ohne System und dann die Fahrt mit System durchführt, während bei der zweiten Gruppe die Reihenfolge vertauscht ist. Dabei ist es allerdings wahrscheinlich, dass das Fahrverhalten der Gruppe, die bereits zu Beginn mit System fährt, kaum repräsentativ ist, weil sich die Gruppe erst an Fahrzeug und Strecke gewöhnen muss. Dem kann durch eine dritte, den beiden genannten Runden, vorgelagerte „Gewöhnungsrunde“ begegnet werden. Aufgrund praktischer Überlegungen, z. B. der Dauer der Testfahrten (jeweils etwa eine Stunde für An- und Abreise und je Runde ergibt bei drei Runden auf der Teststrecke etwa fünf Stunden), und um Ermüdungseffekte in der letzten Runde zu vermeiden, ist dieser Ansatz für die vorliegende Untersuchung nicht durchführbar.

Daher wurde für die vorliegende Untersuchung ein Design mit Untersuchungs- und Kontrollgruppe gewählt. Bei solchen Untersuchungen ergeben sich im Allgemeinen unsystematische Unterschiede in den Daten, die auf die unterschiedlichen Eigenschaften der Probanden zurückzuführen sind. Diese unsystematischen Unterschiede vergrößern die Konfidenzintervalle und führen damit zu einer nicht auf das Experiment zurückführbaren Varianz in den Ergebnissen. Ein Weg, um diese unsystematische Variabilität zu eliminieren, ist die von Loftus und Masson (1994) vorgeschlagene und hier angewandte Berechnung eines auf normalisierten Mittelwerten basierenden Konfidenzintervalls.

4.7. Zusammenfassung der zu testenden Hypothesen und Indikatoren

Aus der entwickelten Methodik ergeben sich die in der Zusammenstellung der Tabelle 4.1 aufgeführten Hypothesen und Indikatoren. Die Werkzeuge, um diese Daten zu erheben und der statistischen Analyse zuzuführen, werden in den beiden folgenden Kapiteln erläutert.

Tabelle 4.1.: Zusammenfassung der zu untersuchenden Hypothesen und Indikatoren

	Hypothesen	Indikator
$H0_1$	Die Geschwindigkeitsinformation der SLW hat keinen Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit.	$I1$: mittlere Geschwindigkeit im unbeeinflussten Fahren
$H0_2$	Die optische Geschwindigkeitswarnung der SLW hat keinen Einfluss auf die Dauer der Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.	$I2$: mittlere Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen zwischen $v = v_{Zul} + 6 \frac{km}{h}$ und $v = v_{Zul} + 20 \frac{km}{h}$ im unbeeinflussten Fahren
$H0_3$	Die optische Geschwindigkeitswarnung der SLW hat keinen Einfluss auf die Anzahl der Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.	$I3$: mittlere Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen zwischen $v = v_{Zul} + 6 \frac{km}{h}$ und $v = v_{Zul} + 20 \frac{km}{h}$ pro km
$H0_4$	Die akustische Geschwindigkeitswarnung der SLW hat keinen Einfluss auf die Anzahl der Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.	$I4$: mittlere Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $v = v_{Zul} + 20 \frac{km}{h}$ pro km
$H0_5$	Die Warnungen der HSW haben keinen Einfluss auf die lokale Geschwindigkeit an den Hot Spots.	$I5$: mittlere Geschwindigkeit im unbeeinflussten Fahren im Bereich der Hot Spots
$H0_6$	Die Warnungen der HSW verursachen keine Gefahrbremungen.	$I6$: Verlauf des Drucks im Bremssystem unmittelbar nach der Warnung im unbeeinflussten Fahren
$H0_7$	Die Charakteristik der Strecken hat keinen Einfluss auf das Geschwindigkeitswahlverhalten.	$I7$: Indikatoren $I1$ bis $I6$ getrennt nach den Streckenabschnitten 1 bis 4.

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tabelle 4.1 — Fortsetzung von der vorigen Seite

$H0_8$	Die Informationen und Warnungen der SLW haben keinen Einfluss auf die kognitive Arbeitsbelastung.	$I8$: Trefferquote im PDT im unbeeinflussten Fahren $I9$: Reaktionszeit im PDT im unbeeinflussten Fahren
$H0_9$	Die Informationen und Warnungen der HSW haben keinen Einfluss auf die kognitive Arbeitsbelastung.	$I8$: Trefferquote im PDT im unbeeinflussten Fahren $I9$: Reaktionszeit im PDT im unbeeinflussten Fahren
$H0_{10}$	Die Informationen und Warnungen der SLW verursachen keine zusätzliche visuelle Ablenkung.	$I10$: Lenkwinkelumkehrrate im unbeeinflussten Fahren
$H0_{11}$	Die Informationen und Warnungen der HSW verursachen keine zusätzliche visuelle Ablenkung.	$I10$: Lenkwinkelumkehrrate im unbeeinflussten Fahren
$H0_{12}$	Die Nutzung der SLW verändert die subjektive Bewertung des Systems nicht.	$I11$: Veränderung von USE/SAT der SLW durch die Testfahrt
$H0_{13}$	Die Nutzung der HSW verändert die subjektive Bewertung des Systems nicht.	$I12$: Veränderung von USE/SAT der HSW durch die Testfahrt
$H0_{14}$	Die SLW weist eine hohe Gebrauchstauglichkeit auf.	$I13$: SUS der SLW nach der Testfahrt
$H0_{15}$	Die HSW weist eine hohe Gebrauchstauglichkeit auf.	$I14$: SUS der HSW nach der Testfahrt

5. Versuchsträger

5.1. Trägerfahrzeug

Als Versuchsfahrzeug stand ein fabrikneuer Volkswagen Bus der fünften Generation mit 2,5l R5 Dieselmotor und manuellem 6-Gang Getriebe zur Verfügung (T5, Modell 7HM, vgl. Abb. 5.1). Als wichtige Sonderausstattung wurde ein Navigationsgerät MFD-II und die sogenannte "Schnittstelle Sonderfahrzeuge" gewählt. Das Display des Navigationsgeräts diente als Anzeigeeinstrument für die Warnungen des Driver Warning System, die Schnittstelle Sonderfahrzeuge stellt in einer standardisierten und dokumentierten Weise analoge Signale über den aktuellen Fahrzeugzustand zur Verfügung (z. B. Geschwindigkeit, Fahrtrichtung, etc., vgl. dazu Volkswagen AG, 2003). Da es sich bei dem Versuchsträger um ein vergleichsweise großes Fahrzeug handelt, wurde darauf Wert gelegt, durch eine entsprechende Kombination aus Motor und Fahrwerk ein möglichst neutrales und Pkw-ähnliches Fahrverhalten zu erreichen.



Abbildung 5.1.: Versuchsträger Volkswagen Bus T5 7HM MJ 2006, Motorisierung R5 2,5l TDI 128 kW, Getriebe 6 Gang manuell.

5.2. Einbauten und Datenerfassung

Für die vorliegende Untersuchung wurden am Trägerfahrzeug Einbauten vorgenommen. Dazu gehörte einerseits die notwendige Hardware für die Realisierung des Driver Warning Systems, als auch Hardware für die Aufzeichnung von Messdaten, anhand derer später die Veränderung im Fahrverhalten der Probanden quantifiziert wurde. Die Einbauten können in zwei Gruppen unterteilt werden: eine Gruppe, die für die Ausführung des Driver Warning System notwendig sind, und eine, die eine zusätzliche Aufzeichnung relevanter Daten zum aktuellen Fahrzeugszustand und damit zur Performance der Probanden ermöglichten.

Eine umfangreiche und detaillierte Dokumentation sowohl des Basisfahrzeugs als auch der im Rahmen dieser Arbeit vorgenommenen Einbauten ist in Heinig (2006) enthalten.

5.2.1. Einbauten für das Driver Warning System

Das Driver Warning System wird auf einem handelsüblichen Laptop ausgeführt, der in einer schockabsorbierenden Halterung im Fahrzeug montiert wurde. Eine Übersicht über die wesentlichen Komponenten der Systemarchitektur mit Ein- und Ausgangssignalen ist in Abb. 5.2 auf Seite 56 dargestellt. Als Eingangssignale werden verwendet

- vom CAN-BUS Komfort gelesene Daten zur Außentemperatur (Bereich -50 bis +70, Auflösung 1 °C, Rate 1 Hz),
- ebenfalls vom CAN-BUS Komfort gelesene Daten zum Status des Regensensors (Boolescher Wert, Regen nicht erkannt: 0, Regen erkannt: 1) und
- die Positionsschätzung der sogenannten Ortungsbox, die die folgenden Eingangssignale verwendet:
 - Fahrzeuggeschwindigkeit (Quelle: Schnittstelle Sonderfahrzeuge, pulsweitenmoduliertes Signal),
 - Fahrtrichtung (Quelle: Schnittstelle Sonderfahrzeuge) und
 - die Signale der GPS-Antenne (nachträglicher Einbau).

Die Hardwarekomponenten, die für das Driver Warning System benötigt werden, sind im Einzelnen:

- ein Laptop mit passender Haltevorrichtung, so dass der Laptop sicher mit dem Fahrzeug verbunden werden kann. Auf dem Laptop wird die Software des Driver Warning System ausgeführt.

- eine Ortungseinheit, die aus der sogenannten Ortungsbox und einer externen GPS-Antenne besteht und vom Fahrzeug ein analoges Signal zur Fahrgeschwindigkeit und zur Fahrtrichtung (vorwärts/ rückwärts) erwartet. Die Ortungseinheit liefert eine Positionsschätzung, die vom Driver Warning System verwendet wird.
- ein VGA-Video-Wandler, der das Ausgangssignal des Laptop so aufbereitet, dass es vom MFD-II als externe Videoquelle interpretiert werden kann. Das Bild wird dann auf dem Display des Navigationsgerätes formatfüllend dargestellt (vgl. Abb. 5.3 auf der nächsten Seite). Das Display befindet sich im Mittel 35 ° rechts und 27 ° unterhalb der Blickachsen der Testfahrer (vgl. auch Abbildung 5.5 auf Seite 60).
- eine Einheit, die direkt vor dem MFD-II das Geschwindigkeitssignal des CAN-BUS filtert. In der Serienkonfiguration des MFD-II wird die Anzeige externer Videoquellen bei einer Fahrgeschwindigkeit von über $6 \frac{km}{h}$ aus Sicherheitsgründen unterbunden. Um dennoch die Anzeige des DWS auf dem Display des MFD-II zu ermöglichen, wurde der CAN-BUS Komfort direkt vor dem MFD-II getrennt, das Geschwindigkeitssignal gefiltert und mit einem Wert von unter $6 \frac{km}{h}$ exklusiv an das MFD-II weitergegeben. Damit ist eine Wiedergabe externer Quellen unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit möglich. Für den Rest des CAN-BUS ist diese Manipulation nicht erkennbar, so dass keine Beeinträchtigung der Bordkommunikation auftritt.

5.2.2. Einbauten für die Datenerfassung

Fahrzeugseitige Daten

Um die Veränderungen im Fahrverhalten durch einen Vergleich der Daten der Kontrollgruppe mit denen der Untersuchungsgruppe quantifizieren zu können, wurden die Signale gemessen, aus denen sich die Indikatoren ermitteln lassen, die für die Tests der Hypothesen nötig sind (vgl. Abschnitt 4.4 und 4.5 auf Seite 37ff). Zur Aufzeichnung der fahrzeugseitig vorhandenen Daten wurde die Software CANalyzer V5.2 verwendet, die auf dem gleichen Laptop wie das Driver Warning System ausgeführt wurde. CANalyzer ermöglicht es, Daten sowohl vom CAN-Komfort, als auch vom CAN-Antrieb zu loggen. Die Verbindung zum CAN-Komfort wurde kurz vor dem MFD-II noch vor der oben genannten Manipulationsbox für die Geschwindigkeit realisiert und der CAN-Antrieb wurde über den Steckverbinder zum Lenkwinkelgeber verbunden. Die aufgezeichneten Signale sind in Tabelle 5.1 auf Seite 57, Teil (a) aufgeführt. Da CAN kein deterministisches, sondern ein stochastisches Kommunikationssystem ist (vgl. Robert Bosch GmbH

5. Versuchsträger

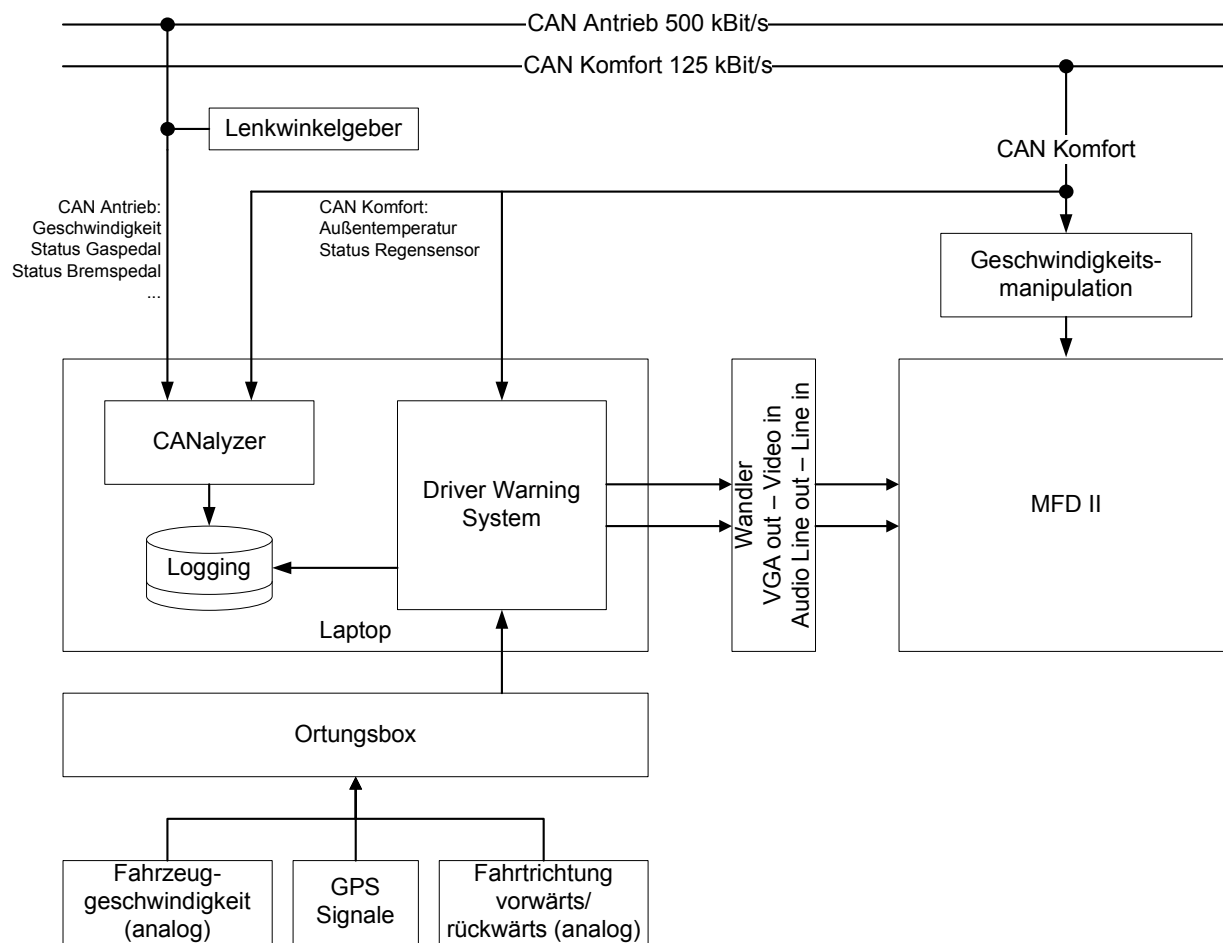


Abbildung 5.2.: Systemarchitektur der wesentlichen Elemente für den Betrieb des Driver Warning System und das Datenlogging.



Abbildung 5.3.: Anzeige des DWS auf dem Display des MFD-II.

(1991)), kann die Frequenz der Datenerfassung für diesen Teil nur als ungefähre Werte angegeben werden.

Tabelle 5.1.: Während der Fahrten aufgezeichnete Signale.

Signal	Daten- erfassungs- rate	Wertebereich	Auflösung	Quelle/ Medium
(a) Fahrzeugseitig				
Fahrzeuggeschwindigkeit	≈ 10 Hz	0 .. 326	0,01 km/h	Drehratensensoren der Räder über CAN
Außentemperatur	≈ 1 Hz	-50 .. 70	0,5 °C	Temperatursensor über CAN
ESC Regeleingriff	ereignis- gesteuert	0, 1	-	ESC Steuergerät über CAN
ABS Bremsung	≈ 10 Hz	0, 1	-	ABS Steuergerät über CAN
Regen erkannt	≈ 1 Hz	0, 1	-	Steuergerät Scheibenwischer über CAN
Lenkradwinkel	≈ 10 Hz	0 .. 1433	0,1 °	Lenkwinkelgeber über CAN
Status Beleuchtung	≈ 10 Hz	0, 1	-	Motorsteuergerät über CAN
Lenkwinkelgeschwindigkeit	≈ 10 Hz	0 .. 62,72	15,68 °/s	Lenkwinkelgeber über CAN
Bremsdruck	≈ 50 Hz	0 .. 250	0,1 bar	ABS Steuergerät über CAN
Stellung Gaspedal	≈ 50 Hz	0 .. 100	0,10 %	Motorsteuergerät über CAN
(b) Driver Warning System				
(b1) Systemeinstellungen				
Freezing Temp	1/ Logfile	-10 .. 10	1 °C	DWS
Status DWS Display	1/ Logfile	1, 2	-	DWS
Status Hot Spot Warning	1/ Logfile	1, 2	-	DWS
Status Speed Limit Warning	1/ Logfile	1, 2	-	DWS

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tabelle 5.1 — Fortsetzung von der vorigen Seite

Hot Spot Warning Preview Time	1/ Logfile	-10 .. 10	1 s	DWS
Blinking Speed Threshold	1/ Logfile	-20 .. 20	1 s	DWS
Acoustic Speed Threshold	1/ Logfile	-20 .. 20	1 s	DWS
Speed Limit Warning Preview Time (high to low)	1/ Logfile	-20 .. 20	1 s	DWS
Speed Limit Warning Preview Time (low to high)	1/ Logfile	-20 .. 20	1 s	DWS
(b2) Prozessdaten				
Positionsschätzung Long/ Lat	1 Hz		0,1 m	DWS
Fahrzeuggeschwindigkeit	1 Hz	0 .. 256	1 m/s	DWS
Regen erkannt	1 Hz	0, 1	-	DWS, von Status Regensensor
Helligkeit	1 Hz	0, 1	-	DWS, von Status Frontbeleuchtung
Geschwindigkeitslimit	1 Hz	0 .. 256	1 km/h	DWS, aus digitaler Karte
Speed Limit Warning optisch	1 Hz	0, 1	-	DWS
Speed Limit Warning akustisch	1 Hz	0, 1	-	DWS
Kategorie Hot Spot	1 Hz	0 .. 256	-	DWS
Index Hot Spot	1 Hz	0 .. 256	-	DWS
Severity Hot Spot	1 Hz	0 .. 256	-	DWS
(c) Videoaufzeichnung				
Kamera Front	25 fps	-	762x288	IGuard 2.57 mit FALCONquattro
Kamera Fahrer gesicht	25 fps	-	762x288	IGuard 2.57
(d) PDT				
Reaktionszeit	ereignis-gesteuert	16 ms .. 2000 ms	1 ms	LabJack U12/ Excel
Statusänderung LED	ereignis-gesteuert	0, 1	1 ms	LabJack U12/ Excel
Statusänderung Taster	ereignis-gesteuert	0, 1	1 ms	LabJack U12/ Excel

Daten des Driver Warning System

Die Logfiles, die vom Driver Warning System zur Verfügung gestellt werden, enthalten in ihrem Header Angaben zu den Systemeinstellungen, z. B. zur Warnschwelle für "Freezing" oder zu den Vorwarnzeiten ("Preview Time"). Diese Information werden in jeder Protokolldatei einmal gespeichert. In den Abschnitten 3.3 und 3.4 auf den Seiten 14ff. sind die entsprechenden Werte und ihre Bedeutung im Detail erläutert.

Die Prozessdaten des DWS werden mit einer Frequenz von 1 Hz im Logfile abgelegt und enthalten Informationen zu den Eingangsdaten und zur aktuellen Anzeige des DWS auf dem Display des MFD-II. Anhand des Zeitstempels, der jedem Prozessdatum zugeordnet wird, kann eine Synchronisation der Daten mit denen anderer Quellen (CAN, PDT, Video) vorgenommen werden.

Videoaufzeichnung

Während des Prozesses der Auswertung der umfangreichen Logfiles tauchen in der Regel Phänomene auf, die sich nicht aus den Logfiles alleine erklären lassen. Dazu gehören z. B. wesentliche Geschwindigkeitsreduzierungen, ungewöhnliche Beschleunigungsvorgänge oder Lenkbewegungen. Um diese Ereignisse erklären zu können, wurden zusätzlich zwei Videokameras installiert, die synchron auf einem zweiten Rechner im Fahrzeug aufgezeichnet wurden. Eine der beiden Kameras zeichnet Bilder in Fahrtrichtung auf, um gegebenenfalls die Verkehrssituation bewerten zu können, die andere das Gesicht des Fahrers (vgl. Abbildung 5.4). Die Aufzeichnung erfolgt mit Hilfe der Software IGuard 2.57 und des Framegrabbers FALCONquattro, der 100 fps verteilt auf



Abbildung 5.4.: Synchroner Videoaufnahme in Fahrtrichtung und Gesicht des Fahrers (Gesicht aus Datenschutzgründen unkenntlich gemacht).

bis zu 16 Videoquellen aufzeichnen kann. Für die vorliegende Untersuchung wurden je Kamera 25 fps bei einer Auflösung von 762×288 Bildpunkten verwendet.

Hard- und Software für das periphere Erkennen

Um die kognitive Arbeitsbelastung der Fahrer messen zu können, wurde der Versuchsaufbau anhand der in Abschnitt 4.5.1 auf Seite 41 beschriebenen Methodik entworfen und implementiert.

Um in das periphere Sichtfeld des Fahrers Lichtreize einzublenden, wurde eine Versuchsanordnung verwendet, die eine von sechs LED zufällig auswählt und nach einer zufälligen Zeitdauer zwischen zwei und sechs Sekunden einblendet. Die LED waren für den Fahrer nicht direkt sichtbar, sondern reflektierten in der Art eines Head Up Display in der Windschutzscheibe des Versuchsfahrzeugs mit einer horizontalen Exzentrizität im Mittel von $14,5^\circ$ bis 15° links und einer vertikalen Exzentrizität von maximal 3° oberhalb der horizontalen Sichtachse der Fahrer (vgl. Abbildung 5.5). Durch die Verwendung mehrerer LED kann vermieden werden, dass der Lichtreiz nach einiger Zeit nicht mehr wahr genommen wird, weil er immer an der gleichen Stelle der Netzhaut im Auge erscheint und so eine Art „blinder Fleck“ entsteht.

Die Reflexionen waren mit einer maximalen Dauer von zwei Sekunden sichtbar. Innerhalb

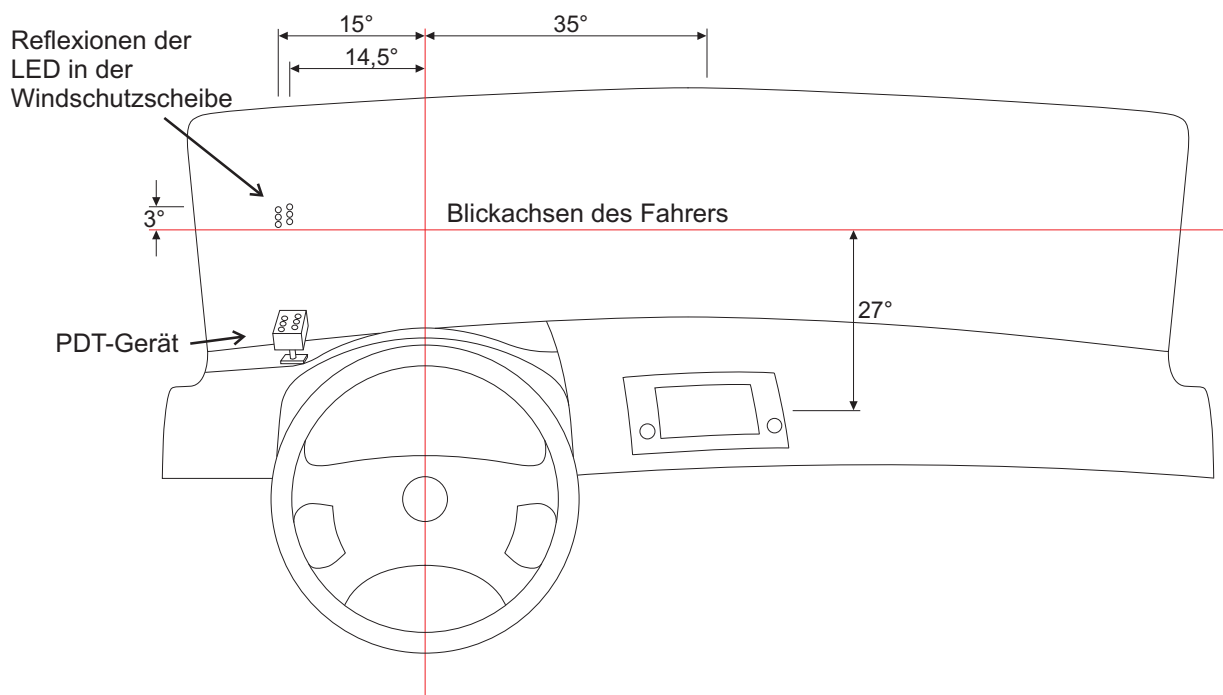


Abbildung 5.5.: Versuchsaufbau für den Peripheral Detection Task

dieser Zeit sollte die Versuchsperson einen an ihrem linken Zeigefinger befestigten Schalter betätigen. Dabei war es irrelevant, welche der sechs LED aufleuchtete. Die Reaktionszeit wurde mit Hilfe eines der beiden Fahrzeugrechner, der auch die Ansteuerung der LED übernahm, aufgezeichnet. Wurde der Reiz übersehen, also keine Quittierung aufgezeichnet, wurde das in der Protokolldatei vermerkt, ebenso, wenn die Versuchsperson den Knopf dauerhaft gedrückt hielt, um so kurze Reaktionszeiten erreichen zu können. Diese wurden für die Auswertung der mittleren Reaktionszeiten nicht berücksichtigt. Zur Ansteuerung der Hardware (LED und Schalter) wurde ein LabJack U12 (LabJack Corporation, 2003) verwendet, der über USB 2.0 an den Fahrzeugrechner angeschlossen wurde. Aufgrund der ActiveX-Controls und USB tritt eine Reaktionszeit von im Mittel 16 ms auf, die bei der Auswertung der Reaktionszeiten berücksichtigt wurde. Es standen drei unterschiedliche PDT-Anzeigeeinstrumente zur Verfügung, die sich nur in der Lichtstärke der verwendeten LED unterschieden, um den verschiedenen Lichtverhältnissen bei Tag-, bzw. Nachtfahrten Rechnung tragen zu können.

6. Aufbau der Untersuchungen

6.1. Voruntersuchungen

Um die entworfene Bewertungsmethodik zu testen und vor der Durchführung der Hauptuntersuchungen gegebenenfalls modifizieren zu können, wurde eine Voruntersuchung unter realen Testbedingungen mit acht Probanden durchgeführt.

Damit konnten Daten der Testfahrten erhoben werden, die denen der späteren Hauptuntersuchung möglichst ähnlich waren und so eine erste Analyse der Daten ermöglichten. Des Weiteren konnte den Versuchsleitern eine realistische Testumgebung für die folgende Hauptuntersuchung geboten werden und damit das Testprozedere auf seine Machbarkeit hin überprüft werden.

Zusätzlich konnten aus der Voruntersuchung Hinweise abgeleitet werden, die zu Modifikationen der beiden Applikationen führten. Als wesentliche Veränderungen ergaben sich:

Modifizierte Graphiken der Hot Spot Warning Hot Spot Warning und Speed Limit Warning teilen sich das Display des fahrzeugeigenen Navigationssystems. Von mehreren Probanden wurde eine schlechte Erkennbarkeit und Unterscheidbarkeit der unterschiedlichen Graphiken der Hot Spot Warning (und damit der Warnungskategorien) berichtet. Zudem führte die Darstellung von Warnungen durch Graphiken, die sich an den Gefahrzeichen der Straßenverkehrsordnung orientierten, wiederholt zu Irritationen, weil fälschlicherweise eine reine Replikation der im Seitenraum montierten Gefahrzeichen erwartet wurde und somit die Hot Spot-Applikation falsch interpretiert wurde.

Um dem abzuhelpen, wurden die Graphiken grundsätzlich verändert. Die überarbeiteten Graphiken orientieren sich in der äußeren Form immer noch an den Gefahrzeichen der StVO (rot umrandetes Dreieck), die Darstellung von StVO konformen Graphiken wurde aber aufgegeben. Stattdessen wird nun bei jeder Warnung das gleiche Grundsymbol gezeigt und die Warnungskategorie nur noch als kleines Zusatz-Icon links oberhalb der eigentlichen Warngraphik dargestellt (vgl. Abbildung 6.1 auf der nächsten Seite).

Zusätzlich stehen die Graphiken in einer höheren Auflösung zur Verfügung, um eine bessere Erkennbarkeit zu ermöglichen. Trotz des damit verbundenen höheren Datenvolumens



Abbildung 6.1.: Modifizierte Graphik für die Hot Spot Warning.

ergaben sich keine Performance-Probleme seitens des Laptops, auf dem das Driver Warning System ausgeführt wurde.

Modifizierte Graphiken der Speed Limit Warning Da die Probanden während der Voruntersuchung von einer eingeschränkten Erkennbarkeit der angezeigten Geschwindigkeitsbeschränkungen berichteten, wurden die Graphiken wie diejenigen der Hot Spot Warning mit einer höheren Auflösung erstellt.

Veränderungen im Algorithmus der Speed Limit Warning Der erste Entwurf des Speed Limit Warning Algorithmus sah eine feste Vorwarnzeit vor, mit der vor dem Erreichen der nächsten Geschwindigkeitsbeschränkung informiert, bzw. gewarnt wurde. Diese Vorwarnzeit war zunächst unabhängig davon, ob die nächste Geschwindigkeitsbeschränkung höher oder niedriger als die aktuell gültige war. Dabei ergab sich vor allem gegen Ende von Ortslagen die Situation, dass die Geschwindigkeitsbeschränkung der freien Strecke bereits vor dem Ende der Ortslage angezeigt wurde. Damit wurde dem Fahrer suggeriert, dass er bereits im Ort legitimiert beschleunigen und die gültige Geschwindigkeitsbeschränkung verletzen könne.

Folglich wurde der Algorithmus so modifiziert, dass zwei Vorwarnzeiten berücksichtigt werden können, eine bei höherer („previewtime_higher“) und eine bei niedrigerer („previewtime_lower“) zu erwartenden Geschwindigkeitsbeschränkung. Der Wert für „previewtime_higher“ wurde auf null Sekunden gesetzt, und damit erst bei Erreichen des veränderten Geschwindigkeitslimits informiert, „previewtime_lower“ wurde unverändert bei zwei Sekunden belassen.

Aus der Voruntersuchung konnten keine weiteren notwendigen Veränderungen der Erhebungsmethodik oder des Testprozederes abgeleitet werden. Sowohl die Befragung der Probanden mit

den entworfenen Fragebögen, als auch die Bewertung der kognitiven Arbeitsbelastung mittels der Methode des peripheren Erkennens oder die Analyse der Daten, die durch die Log-Dateien des DWS und des Fahrzeug-CAN warfen keine Probleme auf, die durch eine Änderung der Methodik hätten vermindert werden konnten.

6.2. Kriterien für die Probandenauswahl und den Stichprobenumfang

Für die angestrebte Untersuchung mit Untersuchungs- und Kontrollgruppe ist die wichtigste Voraussetzung, dass sich die Eigenschaften beider Gruppen statistisch nicht signifikant voneinander unterscheiden. Als wesentliche, im Rahmen der Probandenrekrutierung steuerbare Einflussgrößen auf das Fahrverhalten werden in der Literatur z. B. die Kriterien Geschlecht und Fahrerfahrung (anhand der Kriterien Dauer des Führerscheinsbesitzes, selbst gefahrene Strecke in den vergangenen 12 Monaten, gesamte Fahrerfahrung) identifiziert (stellvertretend z. B. Biermann, 2007; Dingus u. a., 2006).

Als Mindestvoraussetzung für eine Teilnahme gelten die folgenden Ein- bzw. Ausschlusskriterien:

Mindestfahrerfahrung Alle Probanden müssen mindestens 5000 km gefahren sein, um für die Untersuchungen über Fähigkeiten des peripheren Wahrnehmens zu verfügen, die als Voraussetzung für die Anwendung des peripheren Erkennens gilt (vgl. Kapitel 4.5.1 auf Seite 43).

Mindestalter Aus Versicherungsgründen müssen die Fahrer mindestens 21 Jahre alt sein.

Ausstellungsort des Führerscheins Alle Probanden müssen über einen in Deutschland ausgestellten und gültigen Führerschein verfügen, um von einer Mindestkenntnis der Straßenverkehrsordnung ausgehen zu können.

Zur Ermittlung von Wirkungen mit Hilfe von Probanden ist es erstrebenswert, ein statistisch repräsentatives Kollektiv zu nutzen. Das heißt, dass im Kollektiv diejenigen Eigenschaften, die ergebnisbeeinflussend sein können, in der gleichen relativen Häufigkeit vorhanden sein sollen, wie in der Gruppe der späteren Nutzer. Eine solche Stichprobe muss also nach verschiedenen Kriterien, wie z. B. Alter, sozialer Hintergrund, Ausbildungsstand etc. geschichtet werden. Die Folge einer solchen Schichtung ist in der Regel ein sehr großer notwendiger Stichprobenumfang, der für prototypische Systeme nicht mit vertretbarem Aufwand realisiert werden kann und selbst für größer angelegte Untersuchungen unter Umständen zu einer wenig wirtschaftlichen

6. Aufbau der Untersuchungen

Verwendung der knappen Ressourcen führen würde, indem z. B. kostspielig mit Erfassungstechnik ausgerüstete Fahrzeuge an Personen mit geringer Fahrleistung ausgegeben werden. Übliche Stichprobengrößen für vergleichbare Untersuchungen liegen demnach auch in der Regel unter 20 Probanden (z. B. Bastien u. a., 2006; Engström u. a., 2005a,b; Gelau, 2005). Die Ergebnisse solcher Untersuchungen sind allerdings häufig wenig statistisch relevant, so dass ein Mittelweg zwischen anzustrebender Stichprobengröße und Handhabbarkeit gefunden werden muss.

Zur Ermittlung des notwendigen Stichprobenumfangs wurde eine Voruntersuchung mit acht Probanden auf der Versuchsstrecke durchgeführt. Die dabei aufgezeichneten Daten zu den mittleren Geschwindigkeiten, der Anzahl und der Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen wurden analysiert, wobei sich die in Tabelle 6.1 dargestellten Lage- und Streumaße ergaben.

Der notwendige Stichprobenumfang wurde nach Faul u. a. (2007) mit einem Signifikanzniveau von 0,95 (Fehler erster Art $\alpha < 0,05$) und einer (allgemein akzeptierten, vgl. z. B. Field, 2005) Wahrscheinlichkeit eines Fehlers Zweiter Art von 0,20 für einen zweiseitigen Test errechnet. Dabei ergaben sich der Umfang zu 34 Probanden aus der mittleren Geschwindigkeit, zu 584 Probanden aus der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen und zu 10 Probanden aus der Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen.

Der aus dem kleinen Effekt bei der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen resultierende Stichprobenumfang von 584 Probanden liegt dabei weit außerhalb jeder Machbarkeit. Weitere

Tabelle 6.1.: Lage- und Streumaße, sowie Effektgrößen aus den Voruntersuchungen zur mittleren Geschwindigkeit, Anzahl und Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen. Zur Berechnung der Effektgröße vgl. Tabelle 7.1 auf Seite 75.

	Kontrollgruppe	Untersuchungsgruppe
Mittlere Geschwindigkeit		
Mittelwerte	63,55 $\frac{km}{h}$	61,51 $\frac{km}{h}$
Standardabweichung	2,87 $\frac{km^2}{h^2}$	2,83 $\frac{km^2}{h^2}$
Effektgröße		1
Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen		
Mittelwerte	91	82,5
Standardabweichung	3,83	21,58
Effektgröße		0,24
Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen		
Mittelwerte	827 s	507 s
Standardabweichung	135,76 s ²	135,63 s ²
Effektgröße		1

Randbedingungen zur Versuchsdurchführung, unter anderem die zur Verfügung stehenden Ressourcen ermöglichten einen Stichprobenumfang von 60 bis 70 Probanden. Mit einem Umfang von 30 Probanden jeweils in Kontroll- und Untersuchungsgruppe lassen sich Effekte über 0,65 ermitteln. Um gegebenenfalls Ausfälle kompensieren zu können, wurde der Stichprobenumfang damit auf 65 bis 70 Personen festgelegt, die jeweils zur Hälfte der Untersuchungs- bzw. der Kontrollgruppe zugeordnet wurden.

6.3. Teststrecke

6.3.1. Voruntersuchung

Tests auf öffentlichen Straßen haben gegenüber Untersuchungen in Fahrsimulatoren oder stark kontrollierten Experimenten auf abgeschlossenen Teststrecken den Vorteil, dass sich ein realistischeres Fahrverhalten bei den Probanden einstellt. Nicht umsonst werden derzeit größtenteils durch die Europäische Union teilfinanzierte großangelegte Feldversuche mit mehreren hundert Fahrzeugen und umfangreicher Datenerfassung vorbereitet, um so Daten möglichst natürlichen und unbeeinflussten Fahrens zu erhalten. Nachteilig bei Feldversuchen ist dagegen, dass die Wiederholbarkeit der Experimente gegenüber künstlich erzeugten Szenarien eingeschränkt ist. Um diesem Problem abzuhelpfen, wurde in der vorliegenden Untersuchung von jedem Probanden der gleiche, fest definierte Ablauf von Streckenabschnitten durchfahren und die Testfahrten möglichst immer im selben Tageszeitraum durchgeführt, um für jeden Probanden in etwa die gleiche aus der Verkehrsbelastung und Umwelt- und Umfeldeinflüssen resultierende Beeinflussung durch andere Verkehrsteilnehmer zu erreichen.

Um eine gute Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Bereiche des Straßennetzes und das reale Verkehrsgeschehen zu erreichen, waren für die Auswahl der Teststrecke die folgenden Randbedingungen maßgebend:

- Die Strecke sollte möglichst unterschiedliche Charakteristika aufweisen, von großzügig trassierten Straßen bis zu kurvigen Strecken mit relativ hohem Konfliktpotenzial.
- Die Fahrtlänge je Runde sollte zwischen 30 und 60 min betragen, um einerseits einen ausreichend großen Datensatz zur Auswertung verwenden zu können und um andererseits den Aufwand in vertretbaren Grenzen zu halten.
- Da bei der Untersuchung der Kontrollgruppe immer beide Applikationen aktiv sind, sollte ein Teil der Strecke so trassiert sein, dass die vorhandene Geschwindigkeitsbeschränkung nicht oder nur sehr selten überschritten werden kann. Auf diesem Streckenabschnitt kann

6. Aufbau der Untersuchungen

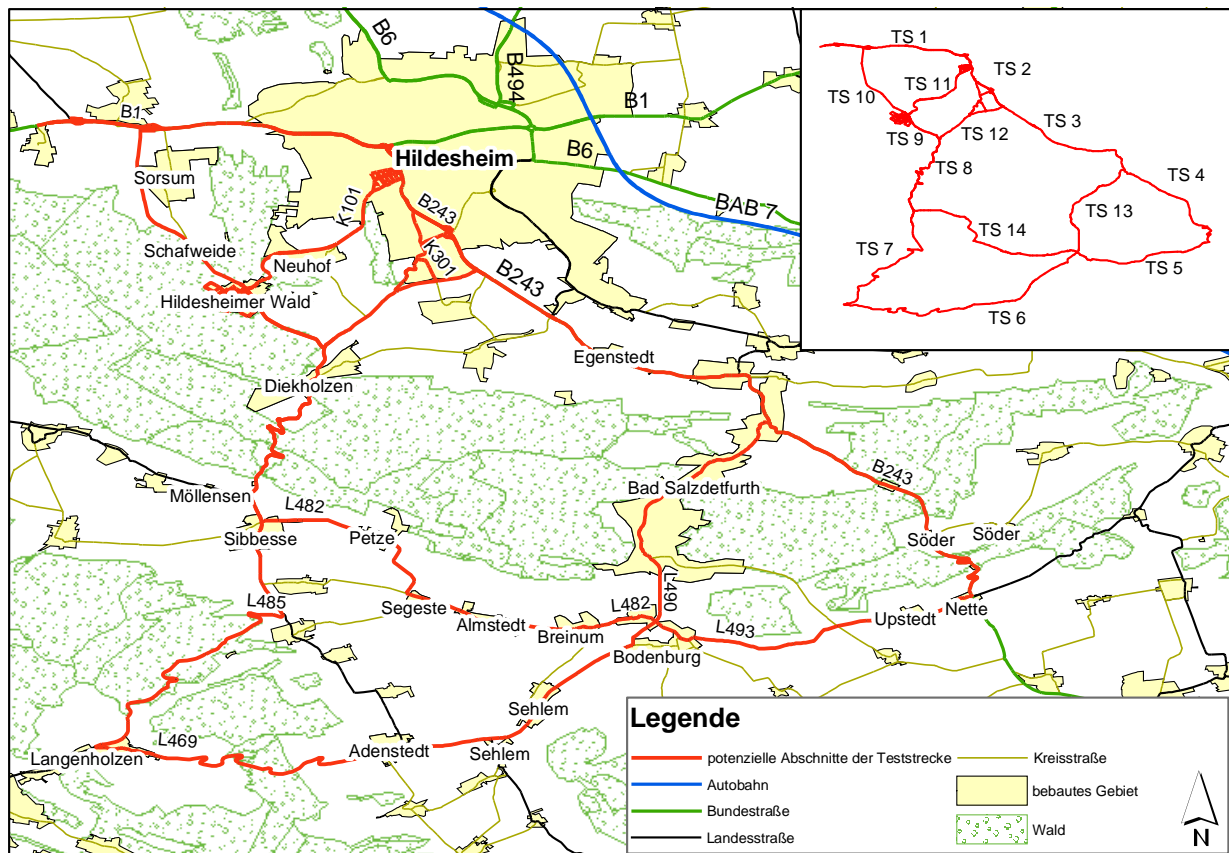


Abbildung 6.2.: Die für die abschließende Auswahl in Betracht kommenden Abschnitte TS 1 bis TS 14 der Teststrecke.

dann die Wirkung der Hot Spot Warning ohne gleichzeitigen Einfluss der Speed Limit Warning analysiert werden.

- Idealerweise liegt die Teststrecke in der Nähe der Universität Hannover, um relativ kurze Anfahrtswege zu garantieren.

Aus diesen Anforderungen wurde zunächst ein Netz von Straßenabschnitten TS 1 bis TS 14 südöstlich von Hildesheim identifiziert (vgl. Abb. 6.2).

Die Auswahl der tatsächlichen Teststrecke als Teilmenge der Straßenabschnitte erfolgte anhand der Kriterien

Länge Die Gesamtlänge der Strecke sollte eine Fahrtdauer von etwa einer Stunde ermöglichen.

Zulässige Höchstgeschwindigkeit Um möglichst häufig eine potenzielle Systemreaktion der Speed Limit Warning zu erreichen, sollten möglichst viele Wechsel der zulässigen Höchstgeschwindigkeit vorhanden sein (vgl. Abbildung B.2 auf Seite 192).

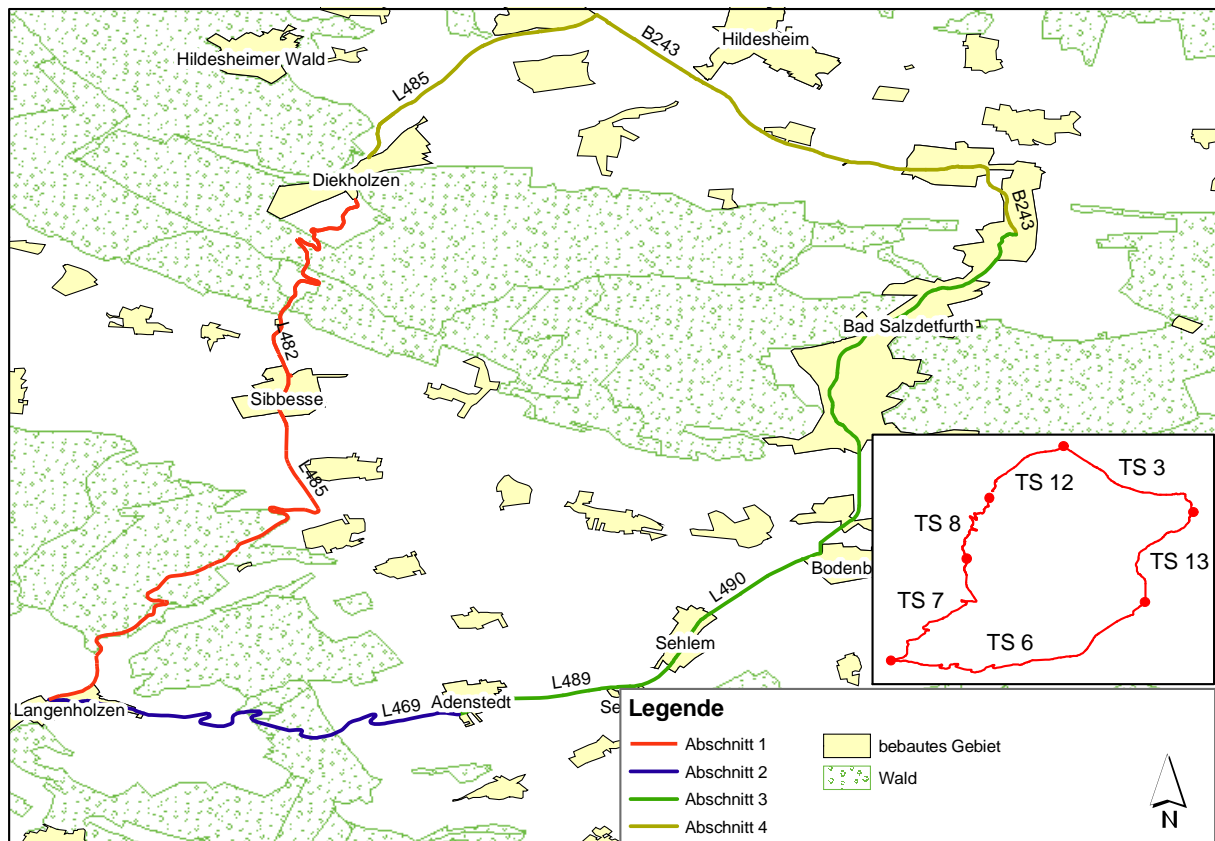


Abbildung 6.3.: Für die Untersuchung ausgewählte Teststrecke mit ihren vier Abschnitten.

Unfallhäufigkeiten Um häufig eine potenzielle Systemreaktion der Hot Spot Warning zu erreichen, sollten auf der Teststrecke möglichst viele Hot Spots vorhanden sein (vgl. Abbildung B.2 auf Seite 192).

Trassierung Eine abwechslungsreiche Trassierung trägt dazu bei, dass die Ergebnisse gut auf andere Streckenabschnitte übertragbar sind. Daher sollte die Teststrecke im Lage- und im Höhenplan sowohl Bereiche hoher also auch geringer Kurvigkeit aufweisen. Leider standen für die Straßenabschnitte keine Planungsunterlagen zur Verfügung, so dass dieses Kriterium nur anhand einer relativ groben Klassifizierung bewertet werden konnte.

Anhand der im Anhang B auf Seite 191ff. detailliert dargestellten Eigenschaften der Streckenabschnitte wurde die in Abbildung 6.3 dargestellte Teststrecke identifiziert, die für die vorliegende Untersuchung sehr gut geeignet ist.

6.3.2. Charakteristika der Teststrecke

Die Teststrecke wurde in vier in sich überwiegend homogene Abschnitte aufgeteilt. Diese Abschnitte dienen dazu, den Einfluss der untersuchten System in unterschiedlichen Fahr- und Straßensituationen zu untersuchen. Die Ortsdurchfahrt Diekhofen, in der die Testfahrten beginnen und enden, wurde aus den Daten der Testfahrten eliminiert, um eine Verzerrung der Ergebnisse auszuschließen.

Abschnitt 1

Abschnitt 1 weist überwiegend eine Geschwindigkeitsbeschränkung von $60 \frac{km}{h}$ bis $70 \frac{km}{h}$ auf. Der Abschnitt ist mit seinen Serpentinien zu Beginn recht anspruchsvoll zu fahren und weist relativ große Höhenunterschiede auf. Der Straßenquerschnitt außerhalb der Ortschaften entspricht überwiegend einem RQ 7,5 (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1996). Genaue Unterlagen zur Trassierung standen nicht zur Verfügung. Da die Trasse aber bereits zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts angelegt wurde, ist davon auszugehen, dass sie zumindest in Teilbereichen nicht den heute gültigen Regelwerken entspricht und somit ein relativ hohes Konfliktpotenzial aufweist.

Abschnitt 2

Abschnitt 2 weist im Lageplan ähnliche Gegebenheiten wie Abschnitt 1 auf, die Steigungen sind insgesamt etwas geringer. Trotz dieser vergleichbaren Gegebenheiten im Lageplan weist dieser Abschnitt keine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf. Er stellt damit einen Sonderfall der vier Abschnitte dar, weil hier die zulässige Höchstgeschwindigkeit außerhalb der Ortschaften mit $100 \frac{km}{h}$ oberhalb der mit dem Testfahrzeug sicher fahrbaren Geschwindigkeit liegt. Somit traten Warnungen der Speed Limit Warning auf diesem Abschnitt ausgesprochen selten auf, weshalb es möglich ist, allein die Wirkung der Hot Spot Warning auf das Fahrverhalten der Probanden zu untersuchen. Der weitaus größte Teil dieses Abschnitts ist als Hot Spot deklariert (vgl Abb. 6.4 auf der nächsten Seite).

Abschnitt 3

Abschnitt 3 ist insgesamt großzügiger trassiert als die beiden vorhergehenden Abschnitte. Der Regelquerschnitt ist hier außerorts überwiegend ein RQ 9,5. Die Kurvigkeit ist ebenfalls erheblich geringer, so dass der Anspruch an die Testpersonen erheblich geringer ist. Dieser Abschnitt weist etwa 50 % Ortsdurchfahrten auf, so dass die Systeme, insbesondere die Speed Limit Warning hier mit besonderer Betonung der Wirkung innerorts ausgewertet werden können.

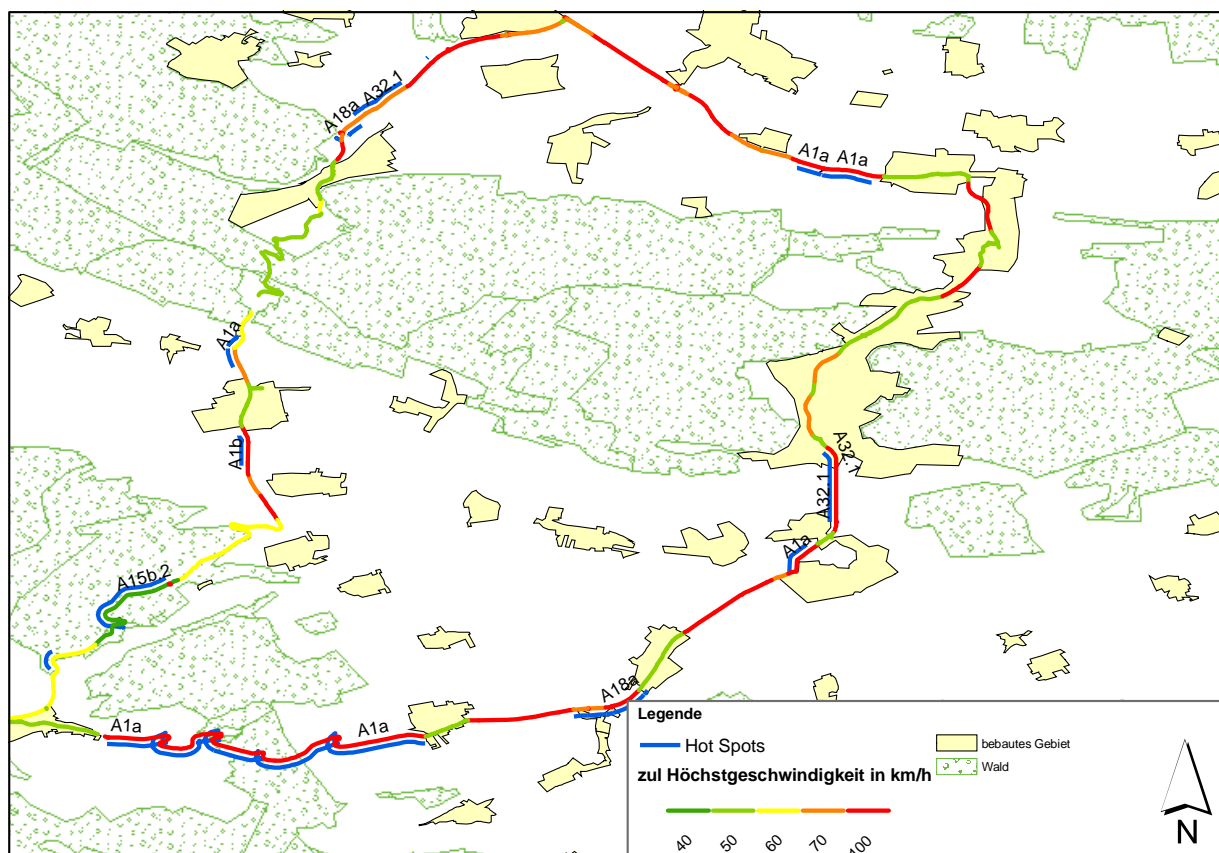


Abbildung 6.4.: Teststrecke mit kategorisierten Hot Spots (vgl. Kapitel 3.4.1 auf Seite 17) und zulässigen Höchstgeschwindigkeiten.

Abschnitt 4

Abschnitt 4 ist insgesamt am großzügigsten trassiert und besteht überwiegend aus einem Abschnitt der Bundesstraße 243 und weist in der Regel einen RQ 10.5 auf. Die großen Sichtweiten und ausgesprochen geringen Kurvigkeiten verleiten zu einer Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Die Auswertung der Daten konzentriert sich hier auf das Geschwindigkeitswahlverhalten der Probanden hinsichtlich gesetzlicher Vorgaben, weil sich die erwünschte Einhaltung der Geschwindigkeitsbeschränkung auf diesem Streckenabschnitt nicht aus einem direkt für den Fahrer erkennbaren Sicherheitsrisiko ergibt, sondern allein aus der gesetzlichen Vorgabe.

Tabelle 6.2 auf der nächsten Seite fasst die Charakteristika der einzelnen Streckenabschnitte zusammen.

Tabelle 6.2.: Eigenschaften der Abschnitte der Teststrecke.

Strecken- abschnitt	von	nach	Länge	Anteil Hot Spots	Anteil Orts- durchfahrten
1	Diekholzen	Langenholzen	14,5	48%	12%
2	Langenholzen	Adenstedt	7,2	74%	22%
3	Adenstedt	Bad Salzdetfurth	12,9	23%	50%
4	Bad Salzdetfurth	Diekholzen	11,7	19%	26%

7. Ergebnisse

Das folgende Kapitel beschreibt die Ergebnisse der Testfahrten mit dem entwickelten Driver Warning System. Die Testfahrten wurden in der Zeit zwischen Dezember 2006 und April 2007 auf der in Anhang B beschriebenen Teststrecke durchgeführt. Aufgrund der für diese Jahreszeit außergewöhnlich hohen Temperaturen kam es zu keinen Beeinträchtigungen der Testfahrten durch die üblicherweise in diesem Zeitraum eigentlich zu erwartenden Witterungsbedingungen. Die Fahrten fanden in der Regel in der Zeit zwischen 10.00 Uhr und 15.00 Uhr statt, so dass eine relativ gleichbleibend schwache Verkehrsnachfrage mit minimalen Beeinträchtigungen durch andere Verkehrsteilnehmer auf der Teststrecke vorlag.

Vor der Auswertung der in den Testfahrten aufgezeichneten Daten wurde zunächst anhand der biographischen Daten und Angaben zu Vorerfahrungen überprüft, dass sich die beiden Gruppen in keiner der vermuteten Störgrößen (Alter, Geschlecht, Dauer Führerscheinbesitz, Fahrerfahrung, Vorerfahrung mit Fahrerassistenz- oder -informationssystemen) signifikant voneinander unterscheiden, um so eine größtmögliche Vergleichbarkeit der Daten zu erreichen.

Die erhobenen Daten sind nach objektiven und subjektiven Daten klassifiziert. Die subjektiven Daten (Abschnitt 7.2) wurden mit Hilfe der beiden Fragebögen nach Brooke (1996) und Van der Laan u. a. (1997) nur für die Untersuchungsgruppe erhoben (vgl. auch Abschnitt 4.5.4). Die Analyse befasst sich hier mit der Einschätzung der Probanden vor der ersten Runde und nach der zweiten Runde der Testfahrt. Einerseits können so absolute Werte ermittelt werden, die mit entsprechenden Daten anderer Untersuchungen verglichen werden können, und andererseits können die Veränderung der Beurteilung von Fahrerinformationssystemen nach der Nutzung des Driver Warning System untersucht werden.

Auch die objektiven Kenngrößen wurden erhoben, um sie mit entsprechenden Daten anderer Untersuchungen vergleichen zu können, aber vor allem, um den Einfluss des Driver Warning System auf das Fahrerverhalten der Probanden direkt untersuchen zu können (Abschnitte 7.4 ff.). Die Abschnitte sind jeweils ähnlich aufgebaut. Zunächst wird durch Voraussetzungstests geprüft, ob die erhobenen Daten normalverteilt sind und demzufolge entweder parametrische oder - für den Fall, dass die Daten nicht normalverteilt sind - nicht parametrische statistische Tests verwendet werden müssen. Darauf folgt eine Analyse der Daten der Kontrollgruppe in den Runden 1 und 2, um den Einfluss von Gewöhnung an Fahrzeug und Teststrecke, bzw. Ermüdungser-

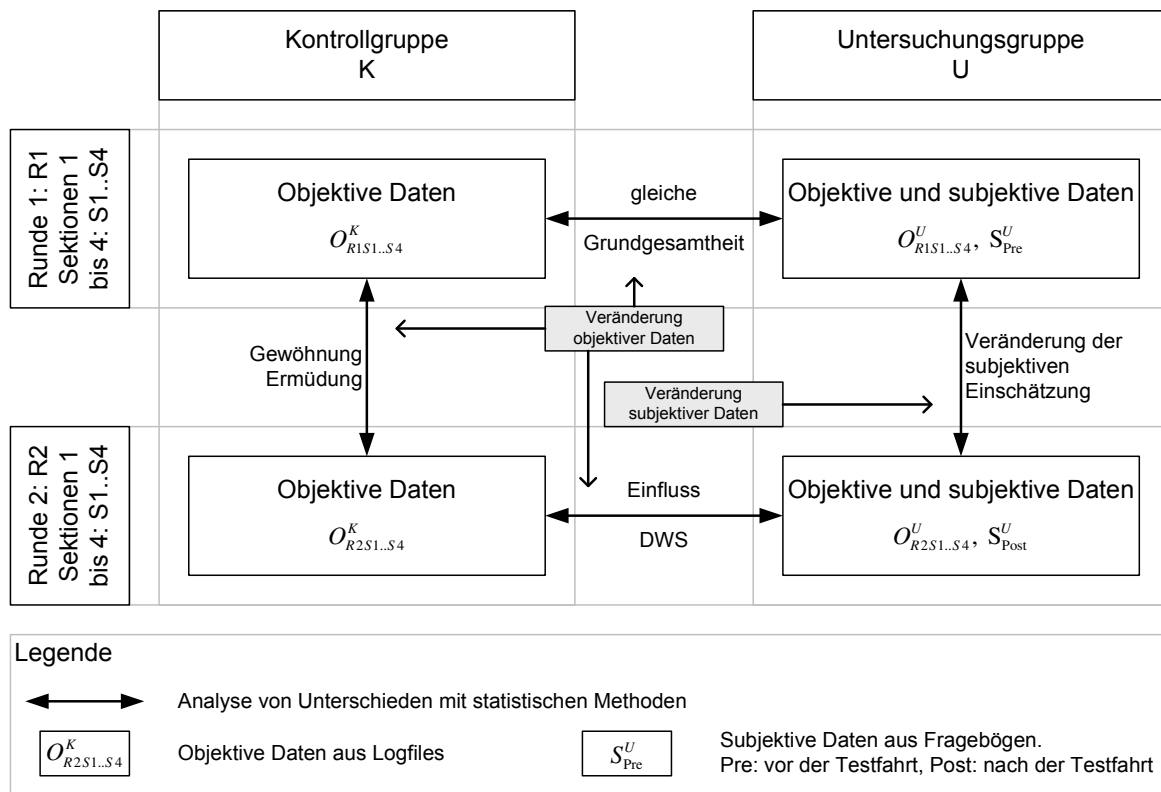


Abbildung 7.1.: Schematische Übersicht der Datenanalyse zur Identifizierung des Einflusses des Driver Warning System auf das Fahrverhalten der Probanden.

scheinungen einschätzen zu können. Um sicherzustellen, dass die Stichproben der Probanden der Kontroll- und Untersuchungsgruppe aus der selben Grundgesamtheit stammen und somit die Ergebnisse in allen Belangen vergleichbar sind, werden die Daten der ersten Runde beider Gruppen miteinander verglichen und auf signifikante Unterschiede im Fahrverhalten untersucht. Nur wenn hier keine signifikanten Unterschiede vorliegen, kann ein sinnvoller Vergleich von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in der zweiten Runde erfolgen, um daraus für den jeweiligen Indikator den Einfluss der untersuchten Systeme auf das Fahrverhalten der Probanden der Untersuchungsgruppe ableiten zu können. Eine schematische Übersicht der analysierten Daten und ihrer Beziehungen zueinander ist in Abbildung 7.1 dargestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchung der objektiven Daten werden getrennt nach der Gesamtrunde mit den Sektionen 1, 3 und 4 und der Sektion 2 dargestellt, wenn sich die Daten der Sektion 2 wesentlich von denen der anderen Sektionen unterscheiden. Anhand der Daten der Sektion 2 konnten sehr gut die Wirkungen der Hot Spot Warning getrennt von den Wirkungen der Speed Limit Warning analysiert werden, weil aufgrund der Trassierung im Lage- und Höhenplan die dort vorherrschende zulässige Höchstgeschwindigkeit von $100 \frac{km}{h}$ nahezu nie überschritten wurde.

Damit wurden Warnungen der Speed Limit Warning extrem selten gegeben, während Warnungen der Hot Spot Warning weitaus häufiger auftraten. Da Sektion 2 etwa 5 bis 8 Minuten nach dem Beginn der Testfahrt erreicht wird, kann davon ausgegangen werden, dass sich noch kein Gewöhnungs- oder Transfereffekt eingestellt hat, der aus der Speed Limit Warning resultiert und auch ohne Warnungen der Speed Limit Warning zu einer Reduktion der Fahrgeschwindigkeit führt. Die Daten der Sektionen 1, 3 und 4 dagegen wurden dazu verwendet, die gemeinsame Wirkung der beiden Informations- bzw. Warnsysteme zu analysieren.

Sowohl bei der Untersuchung der subjektiven, als auch der objektiven Daten werden die Ergebnisse mit ihren Signifikanzen und den standardisierten Effekten wiedergegeben. Als Effektgröße wird Pearsons Korrelationskoeffizient r verwendet, die Berechnung orientiert sich an den von Field (2005) bzw. Rosenthal (1991) genannten Beziehungen (vgl. Tabelle 7.1). Die Einteilung der Effekte in klein, mittel und groß folgt den Vorschlägen von Cohen (1988). Danach sind

Tabelle 7.1.: Berechnungen der Effektgrößen r nach Art der Stichprobe und ihrer Verteilung.

Verteilung		Stichproben	
	Abhängigkeit	zwei	mehrere
normal	unabhängig	$r = \sqrt{\frac{t^2}{t^2 + df}}$	$r = \sqrt{\frac{SS_M}{SS_T}}$
		Rosenthal (1991, S. 19)	Field (2005, S. 357)
	abhängig	$r = \sqrt{\frac{t^2}{t^2 + df}}$	$r = \sqrt{\frac{F(1, df)}{F(1, df) + df}}$
		Rosenthal (1991, S. 19)	Field (2005, S. 453)
nicht normal	unabhängig	$r = \frac{Z}{\sqrt{N}}$	
	abhängig	$r = \frac{Z}{\sqrt{N}}$	
		Rosenthal (1991, S. 19)	
mit	t	= Test-Statistik der Student-Verteilung in Abhängigkeit von Freiheitsgraden df und Konfidenzintervall α	
	df	= Freiheitsgrade	
	Z	= Wert einer Verteilung, die auf den Mittelwert von $\bar{x} = 0$ und die Streuung $s = 1$ standardisiert wurde: $Z = \frac{x - \bar{x}}{s}$	
	N	= Stichprobenumfang	
	SS_T	= Summe der quadratischen Abweichungen vom Mittelwert: $SS_T = \sum (x - \bar{x})^2$	
	SS_M	= Summe der quadratischen Abweichungen von den Werten der Regressionsgeraden $SS_M = r(x): \sum (x - r(x))^2$	

Effekte von $0,1 < r < 0,3$ klein, $0,3 < r < 0,5$ mittelgroß und $r \geq 0,5$ groß. Alle statistischen Tests wurden mit dem Statistikpaket SPSS Version 14.0.1 durchgeführt.

Vergleiche der Mittelwerte der Indikatoren innerhalb einer Gruppe (z. B. der Einfluss von Gewöhnung oder Ermüdung) werden mit Tests für abhängige (gepaarte) Stichproben durchgeführt, Vergleiche zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe mit Tests für unabhängige Stichproben. Daher kann es dazu kommen, dass die Mittelwerte eines Indikators in der selben Runde und der selben Sektion in unterschiedlichen Tabellen verschiedene Werte annehmen, beispielsweise die mittlere Geschwindigkeit der Kontrollgruppe in Runde 2 in den Tabellen 7.5 auf Seite 91 und 7.8 auf Seite 96. Hier tritt der Fall ein, dass für den Test der abhängigen Stichprobe (Tabelle 7.5) aufgrund von Datenausfällen nicht für alle Probanden in beiden Runden Werte existieren, so dass einzelne Wertepaare (z. B. die mittleren Geschwindigkeiten der Kontrollgruppe in den Runden 1 und 2) für den statistischen Test nicht verwendet werden können. Die Berechnung des Mittelwerts erfolgt dann nur aufgrund der für den entsprechenden Test verwendeten Einzelwerte. Der Test der unabhängigen Stichprobe (z. B. zwischen den mittleren Geschwindigkeiten in Runde 2 der Untersuchungs- und Kontrollgruppe, Tabelle 7.8) kann dagegen alle Werte verwenden, unabhängig davon, ob ein entsprechender Wert aus der Runde 1 existiert.

7.1. Probandenrekrutierung und Gruppenzusammensetzung

Die Rekrutierung der Versuchspersonen erfolgte durch Aushänge im Bereich der Leibniz Universität Hannover, insbesondere in Bereichen, die stark von Studenten und Mitarbeitern frequentiert werden, sowie durch das Verteilen von Handzetteln, die auf eine Website hinwiesen. Auf dieser Site wurden von den potenziellen Probanden Angaben zur Person (Name, Alter, Geschlecht, Kontaktmöglichkeiten), sowie zu den Ein- bzw. Ausschlusskriterien für die Untersuchung erfragt. Weiterhin wurden Informationen zur Fahrerfahrung in den vergangenen zwölf Monaten und zur Dauer des Führerscheinbesitzes erbeten, sowie Angaben, ob bereits Erfahrungen beim Fahren mit Kleinbussen bzw. Transportern vorhanden waren.

Aus den potenziellen Probanden wurden 67 Personen ausgewählt und zufällig auf die Kontroll- und die Untersuchungsgruppe verteilt. Von diesen waren die Daten der Testfahrt eines Probanden wegen technischer Probleme bei der Aufzeichnung vollständig nicht verwendbar. Das restliche Probandenkollektiv von 66 Personen wies eine Altersspanne von 21 bis 60 Jahren auf, die Geschlechter waren in etwa gleicher Stärke vertreten (34 Personen weiblich, 32 Personen männlich). Etwa ein Drittel der Probanden verfügte über einen Hochschulabschluss, zwei Drittel der Probanden hatten Abitur oder Mittlere Reife und befanden sich im Studium bzw. der Ausbil-

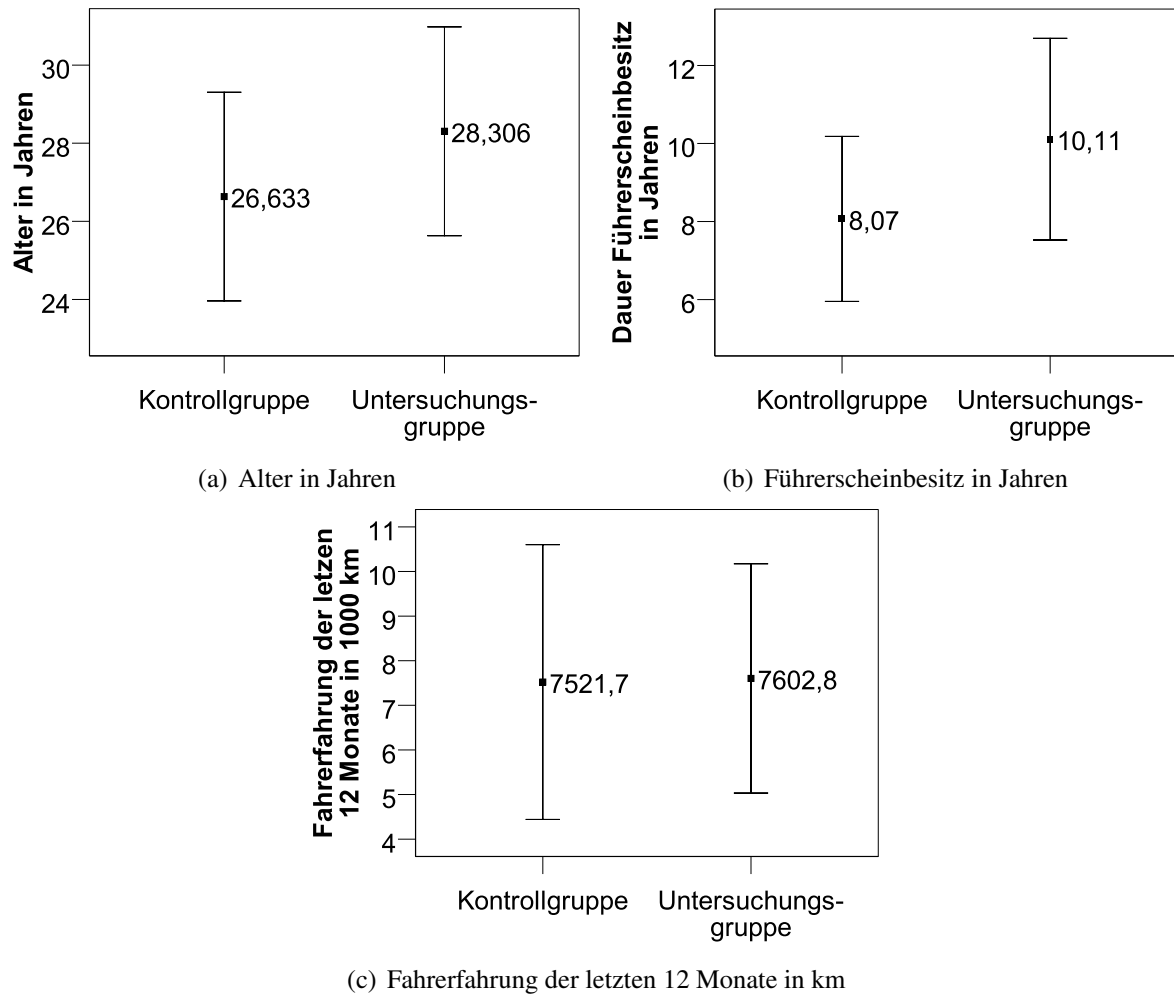


Abbildung 7.2.: Mittelwerte der Störvariablen der Untersuchungs- und Kontrollgruppe mit den oberen und unteren Grenzen der 95 %-Konfidenzintervalle.

dung. Die Kontrollgruppe bestand aus 30 Personen, davon je 15 weiblich bzw. männlich, in der Untersuchungsgruppe befanden sich 36 Personen, 19 Frauen und 17 Männer. Die Gruppen unterschieden sich hinsichtlich der Störvariablen statistisch signifikant weder in ihrem Alter (Kontrollgruppe $\bar{x} = 26,6$ Jahre, Untersuchungsgruppe $\bar{x} = 28,3$ Jahre, $U = 449,5$, nicht signifikant, vgl. Abb. 7.2 (a)), noch der Dauer des Führerscheinbesitzes (Kontrollgruppe $\bar{x} = 8,1$ Jahre, Untersuchungsgruppe $\bar{x} = 10,1$ Jahre, $U = 436,5$, nicht signifikant, vgl. Abb. 7.2 (b)) oder der Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate voneinander (Kontrollgruppe $\bar{x} = 7521$ km, Untersuchungsgruppe $\bar{x} = 7603$ km, $U = 539,0$, nicht signifikant, vgl. Abb. 7.2 (c)).

7.2. Subjektive Bewertungen

7.2.1. Reliabilität

Für die mit den Fragebögen erhobenen Werte zur Gebrauchstauglichkeit (SUS nach Brooke, 1996) und zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung (Van der Laan u. a., 1997) wurden Reliabilitätsanalysen durchgeführt. Verwendet wurde die Kenngröße Cronbach- α , ein Maß zur Berechnung der internen Konsistenz einer aus mehreren Items (z. B. Fragen in Fragebögen) zusammengesetzten Skala (Cronbach, 1951). Interne Konsistenz bedeutet, dass die einzelnen Items mit der Gesamtheit der übrigen Items zusammenhängen, und gilt als Maß der Reliabilität der Skala. α kann – bei perfekter Konsistenz – ein Maximum von +1 erreichen; je kleiner der Wert (es sind auch negative Werte möglich, die aber nicht interpretierbar sind), desto geringer ist die Konsistenz (Ludwig-Mayerhofer, W., 2006). Cronbachs α berechnet sich wie folgt (Field, 2005):

$$\alpha = \frac{n^2 \cdot \overline{Cov}}{\sum s_{item}^2 + \sum Cov_{item}}$$

Dabei steht n für die Anzahl der Items, \overline{Cov} für die mittlere Kovarianz zwischen allen Items, s_{item}^2 für die Varianz und Cov_{item} für die Kovarianzen der einzelnen Items.

Tabelle 7.2 auf der nächsten Seite enthält die Reliabilitäts-Werte für die aus den Fragebögen erhaltenen Daten. Alle Werte liegen über dem allgemein als Mindestanforderung betrachteten 0,7 (Field, 2005), häufig sogar über 0,8, mit Ausnahme des Wertes für Brookes System Usability Scale der Speed Limit Warning (0,652).

Darauf aufbauend konnten die in den folgenden Abschnitten dargestellten Ergebnisse ermittelt werden.

7.2.2. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

Die Untersuchungen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung erfolgten anhand der Daten, die mit den nach Van der Laan u. a. (1997) erstellten Fragebögen erhoben wurden. Die Kontrollgruppe erhielt die Fragebögen nur vor der Testfahrt, die Untersuchungsgruppe sowohl vor, als auch nach der Testfahrt.

Eine Klassifizierung der Probanden wurde nach den folgenden Kriterien vorgenommen:

Geschlecht Da sich vermutlich unterschiedliche Einschätzungen der Systeme aufgrund des Geschlechts der Probanden ergeben, wird eine entsprechende Unterscheidung vorgenommen.

Tabelle 7.2.: Cronbachs α für die Untersuchungen der Brauchbarkeit und Zufriedenstellung nach Van der Laan u. a. (1997) und der Gebrauchstauglichkeit nach Brooke (1996).

Untersuchungsgegenstand	Cronbachs α
Brauchbarkeit Speed Limit Warning Pre	0,792
Brauchbarkeit Speed Limit Warning Post	0,822
Brauchbarkeit Hot Spot Warning Pre	0,869
Brauchbarkeit Hot Spot Warning Post	0,930
Zufriedenstellung Speed Limit Warning Pre	0,876
Zufriedenstellung Speed Limit Warning Post	0,861
Zufriedenstellung Hot Spot Warning Pre	0,898
Zufriedenstellung Hot Spot Warning Post	0,920
SUS Speed Limit Warning	0,652
SUS Hot Spot Warning	0,791

Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen In einigen Quellen wird ein Einfluss einer Vorerfahrung mit Fahrerassistenz- oder -informationssystemen auf die subjektive Einschätzung neuer Systeme beschrieben (z. B. von Ljung u. a., 2007). Unterscheidungskriterium ist die mindestens einmalige Nutzung eines Fahrerassistenz- bzw. -informationssystems, um gegebenenfalls die Einschätzungen völlig unbedarfter Probanden von solchen mit einer Mindest Erfahrung unterscheiden zu können.

Fahrerfahrung Um festzustellen, ob sich die subjektive Bewertung der beiden untersuchten Systeme mit zunehmender Fahrerfahrung der Probanden verändert, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dazu wurden die Probanden der Untersuchungsgruppe in zwei Untergruppen unterteilt. Das Kriterium für diese Unterteilung war die Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate, wobei die Gruppenbildung sich an den Schwellenwerten von $1.000 \frac{km}{Jahr}$ bis $10.000 \frac{km}{Jahr}$ in $1.000 km$ -Schritten orientierte. Für jede dieser Gruppenkonstellationen wurde zunächst untersucht, ob sich signifikante Unterschiede im Alter oder bezüglich der Dauer des Führerscheinbesitzes ergaben. Das war aufgrund der sehr homogenen Gruppenzusammensetzung in keinem Fall gegeben (Mann-Whitney Test, $p > 0,05$ in allen Fällen).

Die größten signifikanten Unterschiede in der Beurteilung der Systeme ergaben sich bei einem Schwellenwert von $3.000 \frac{km}{Jahr}$ Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate, so dass dieser Werte als Kriterium für die Einteilung der Probanden in die Gruppen "geringe Fahrerfahrung" und "hohe Fahrerfahrung" verwendet wird. Da sich anhand des Alters oder der

Dauer des Führerscheinbesitzes keine signifikanten Unterschiede für alle Gruppen ergeben hatten, kann davon ausgegangen werden, dass allein der Unterschied in der Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate für die unterschiedlichen Bewertungen verantwortlich ist.

Speed Limit Warning

Einzelfragen Die Auswertung der einzelnen Fragen zur Brauchbarkeit und Zufriedenstellung der Nutzer im Vorher-/ Nachher-Vergleich ergibt die in Tabelle 7.3 auf der nächsten Seite dargestellten Effektgrößen mit den jeweils zugehörigen Signifikanzen p . Da die Antworten auf die einzelnen Fragen bzw. Begriffspaare nie normalverteilt waren, wurde zur Auswertung der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet (Field, 2005).

Für die Speed Limit Warning ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- Für Fragen, die zum Konstrukt „*Brauchbarkeit*“ gehören, ergaben sich nie signifikante Effekte.
- Zu den Fragen, die zum Konstrukt „*Zufriedenstellung*“ gehören, konnten die folgenden Effekte ermittelt werden:
 - „Alle“ beurteilten das System nach der Nutzung als „angenehmer“ als vorher vermutet ($z = -2,71, p < 0,01, r = -0,45$) und als „netter“ ($z = -2,61, p < 0,01, r = -0,44$), wobei bei Frauen der Schwerpunkt auf der Einschätzung „angenehmer“ ($z = -2,29, p < 0,05, r = -0,52$), bei Männern auf der Beurteilung „netter“ lag ($z = -2,45, p < 0,05, r = -0,59$).
 - Die Gruppe derjenigen, die bereits vor dem Experiment „Erfahrung mit FAS“ aufwies, beurteilte das System nach der Nutzung als weniger nervig ($z = -2,53, p < 0,05, r = -0,57$), dabei ist der Effekt nur bei Männern signifikant ($z = -2,24, p > 0,05, r = -0,60$). Die Gruppe „ohne Erfahrung mit FAS“ bewertete das System als „angenehmer“ ($z = -2,14, p < 0,05, r = -0,54$).
 - Probanden mit einer Fahrerfahrung von unter 3.000 km in den vergangenen zwölf Monaten beurteilten das System sowohl als weniger „unangenehm“ ($z = -2,36, p < 0,05, r = -0,56$), als auch als weniger „nervig“ ($z = -2,72, p < 0,01, r = -0,64$), wobei hier der Schwerpunkt bei den Frauen lag, die das System insbesondere als erheblich weniger „nervig“ als vor der Fahrt beurteilten („unangenehm - angenehm“: $z = -2,07, p < 0,05, r = -0,62$, „nett - nervig“: $z = -2,40, p < 0,05, r = -0,72$). Zusätzlich ist noch ein Effekt bei Männern mit einer Fahrerfahrung von über $3.000 \frac{\text{km}}{\text{Jahr}}$ zu verzeichnen, sie schätzen das System als „netter“ ein ($z = -2,00, p < 0,05, r = -0,63$).

7.2. Subjektive Bewertungen

Tabelle 7.3.: Signifikanzen und Effekte der Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung für die Speed Limit Warning nach Van der Laan u. a. (1997). Mindestens signifikante Werte sind **fett**, Effekte nach Cohen (1988) in *klein*, *mittel* und *groß* differenziert.

	N	Brauchbarkeit					Zufriedenstellung			
		nutzlos nützlich	schlecht gut	unnötig effizient	wertlos hilfreich	einschläfernd aktivierend	unangenehm angenehm	nervig nett	ärgerlich erfreulich	nichtwünschenswert wünschenswert
Alle	36									
Z		-0,2000	-0,0910	-0,5849	-0,2660	-0,7846	-2,7055	-2,6102	-0,2928	-0,7618
Signifikanz		0,8415	0,9275	0,5586	0,7902	0,4327	0,0068	0,0090	0,7697	0,4462
Effektgröße		-0,0333	-0,0152	-0,0975	-0,0443	-0,1308	-0,4509	-0,4350	-0,0488	-0,1270
Männer	17									
Z		-0,2774	-0,1063	-1,1547	-	-1,0000	-1,5543	-2,4495	-0,2498	-0,2498
Signifikanz		0,7815	0,9153	0,2482	1,0000	0,3173	0,1201	0,0143	0,8028	0,8028
Effektgröße		-0,0673	-0,0258	-0,2801	-	-0,2425	-0,3770	-0,5941	-0,0606	-0,0606
Frauen	19									
Z		-	-0,2153	-0,6325	-0,7071	-0,1871	-2,2943	-1,7676	-0,5518	-1,3112
Signifikanz		1,0000	0,8296	0,5271	0,4795	0,8516	0,0218	0,0771	0,5811	0,1898
Effektgröße		-	-0,0494	-0,1451	-0,1622	-0,0429	-0,5263	-0,4055	-0,1266	-0,3008
Alle, Erfahrung mit FAS	20									
Z		-0,7276	-0,6277	-1,0722	-0,1725	-0,5345	-1,7311	-2,5298	-0,4652	-0,0614
Signifikanz		0,4669	0,5302	0,2836	0,8631	0,5930	0,0834	0,0114	0,6418	0,9511
Effektgröße		-0,1627	-0,1404	-0,2398	-0,0386	-0,1195	-0,3871	-0,5657	-0,1040	-0,0137
Alle, keine Erfahrung mit FAS	16									
Z		-0,7071	-0,7107	-0,8165	-0,3780	-1,8974	-2,1401	-1,4606	-0,0614	-1,1547
Signifikanz		0,4795	0,4773	0,4142	0,7055	0,0578	0,0323	0,1441	0,9511	0,2482
Effektgröße		-0,1768	-0,1777	-0,2041	-0,0945	-0,4743	-0,5350	-0,3651	-0,0153	-0,2887
Männer, Erfahrung mit FAS	14									
Z		-0,5774	-0,6804	-1,1547	-	-0,7071	-1,0954	-2,2361	-	-0,5133
Signifikanz		0,5637	0,4962	0,2482	1,0000	0,4795	0,2733	0,0253	1,0000	0,6078
Effektgröße		-0,1543	-0,1818	-0,3086	-	-0,1890	-0,2928	-0,5976	-	-0,1372
Männer, keine Erfahrung mit FAS	3									
Z		-1,0000	-1,0000	-	-	-1,0000	-1,3416	-1,0000	-1,0000	-1,0000
Signifikanz		0,3173	0,3173	1,0000	1,0000	0,3173	0,1797	0,3173	0,3173	0,3173
Effektgröße		-0,5774	-0,5774	-	-	-0,5774	-0,7746	-0,5774	-0,5774	-0,5774
Frauen, Erfahrung mit FAS	6									
Z		-0,4472	-	-	-1,0000	-1,6330	-1,6330	-1,3416	-0,8165	-1,0000
Signifikanz		0,6547	1,0000	1,0000	0,3173	0,1025	0,1025	0,1797	0,4142	0,3173
Effektgröße		-0,1826	-	-	-0,4082	-0,6667	-0,6667	-0,5477	-0,3333	-0,4082
Frauen, keine Erfahrung mit FAS	13									
Z		-0,3780	-0,2774	-0,8165	-0,3780	-1,6667	-1,7056	-1,2923	-0,1443	-0,9045
Signifikanz		0,7055	0,7815	0,4142	0,7055	0,0956	0,0881	0,1962	0,8852	0,3657
Effektgröße		-0,1048	-0,0769	-0,2265	-0,1048	-0,4623	-0,4730	-0,3584	-0,0400	-0,2509
Alle, Hohe Fahrerfahrung	18									
Z		-0,2774	-0,7649	-0,2774	-0,1224	-1,1547	-1,4254	-0,6325	-0,9206	-0,2654
Signifikanz		0,7815	0,4443	0,7815	0,9026	0,2482	0,1540	0,5271	0,3573	0,7907
Effektgröße		-0,0654	-0,1803	-0,0654	-0,0288	-0,2722	-0,3360	-0,1491	-0,2170	-0,0625
Alle, Geringe Fahrerfahrung	18									
Z		-	-1,1547	-0,5866	-0,4472	-	-2,3603	-2,7235	-0,4652	-0,9045
Signifikanz		1,0000	0,2482	0,5575	0,6547	1,0000	0,0183	0,0065	0,6418	0,3657
Effektgröße		-	-0,2722	-0,1383	-0,1054	-	-0,5563	-0,6419	-0,1097	-0,2132
Männer, hohe Fahrerfahrung	10									
Z		-0,3333	-0,1374	-0,3333	-0,2722	-	-1,1272	-2,0000	-0,2760	-
Signifikanz		0,7389	0,8907	0,7389	0,7855	1,0000	0,2596	0,0455	0,7825	1,0000
Effektgröße		-0,1054	-0,0434	-0,1054	-0,0861	-	-0,3565	-0,6325	-0,0873	-
Männer, geringe Fahrerfahrung	7									
Z		-	-1,0000	-1,4142	-1,0000	-1,7321	-1,1339	-1,4142	-	-0,5774
Signifikanz		1,0000	0,3173	0,1573	0,3173	0,0833	0,2568	0,1573	1,0000	0,5637
Effektgröße		-	-0,3780	-0,5345	-0,3780	-0,6547	-0,4286	-0,5345	-	-0,2182
Frauen, hohe Fahrerfahrung	8									
Z		-	-1,2649	-	-	-1,6330	-1,0000	-0,8165	-1,8898	-0,3780
Signifikanz		1,0000	0,2059	1,0000	1,0000	0,1025	0,3173	0,4142	0,0588	0,7055
Effektgröße		-	-0,4472	-	-	-0,5774	-0,3536	-0,2887	-0,6682	-0,1336
Frauen, geringe Fahrerfahrung	10									
Z		-	-1,5076	-0,8165	-1,0000	-1,0000	-2,0655	-2,4010	-0,5203	-1,4142
Signifikanz		1,0000	0,1317	0,4142	0,3173	0,3173	0,0389	0,0164	0,6029	0,1573
Effektgröße		-	-0,4545	-0,2462	-0,3015	-0,3015	-0,6228	-0,7239	-0,1569	-0,4264

- Die Einschätzung der verbleibenden Fragen des Konstrukts „Zufriedenstellung“ wiesen für keine der Gruppe signifikante Effekte auf.

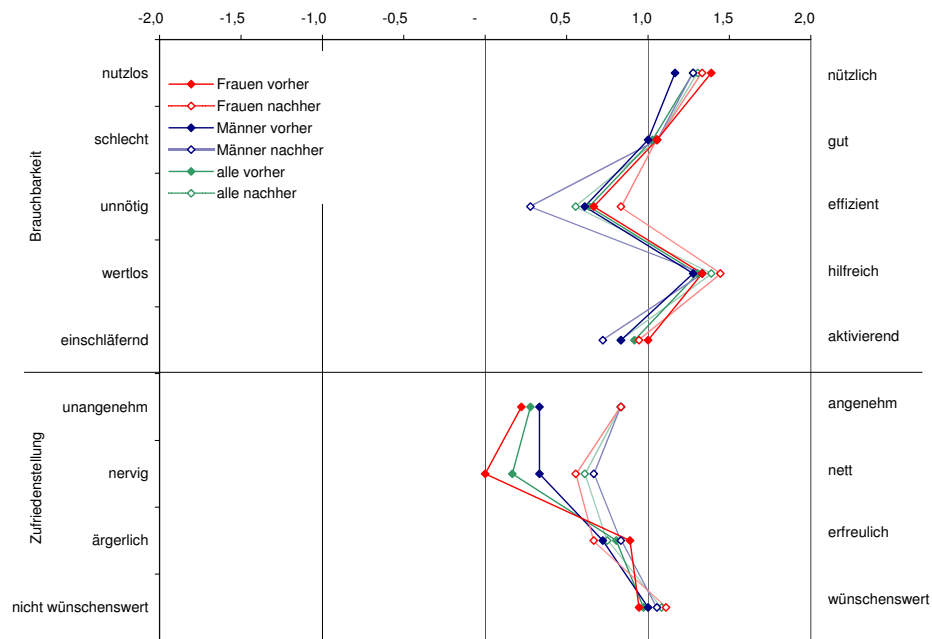
In Abbildung 7.3 auf der nächsten Seite, Teil (a) sind die Bewertungen der Probanden der Untersuchungsgruppe sowohl gemeinsam, als auch nach Geschlecht für die Speed Limit Warning als Vorher-Nachher-Vergleich dargestellt. Die Abbildungen E.1 bis E.15 auf den Seiten 214–228 stellen die übrigen Auswertungen nach den Nutzergruppen dar.

Konstrukte Brauchbarkeit und Zufriedenstellung Abbildung 7.3 auf der nächsten Seite, Teile (b) und (c) stellen die aus den Einzelfragen zusammengesetzten Bewertungen für Brauchbarkeit und Zufriedenstellung mit den dazugehörigen 95 %-Konfidenzintervallen dar. Da sich die Konfidenzintervalle in allen Dimensionen deutlich überlappen, kann nicht von signifikanten Veränderungen der Einschätzung nach der Nutzung des System gesprochen werden. Dies gilt sowohl für die in Abbildung 7.3 dargestellte Auswertung nach Geschlecht, als auch für alle anderen gruppenspezifischen Auswertungen in den Abbildungen E.1 bis E.15 auf den Seiten 214–228. Die entsprechenden Wilcoxon-Tests ergaben nie signifikante Unterschiede. Tendenzen, die nach der Systemnutzung auf eine höher eingeschätzte Zufriedenstellung hindeuten, decken sich aber mit den Ergebnissen der Auswertung der Einzelfragen im vorigen Abschnitt. Die Veränderungen der „Brauchbarkeit“ sind dagegen sowohl für das Konstrukt als auch die Einzelfragen so gering, dass keine weitergehenden Schlüsse gezogen werden können.

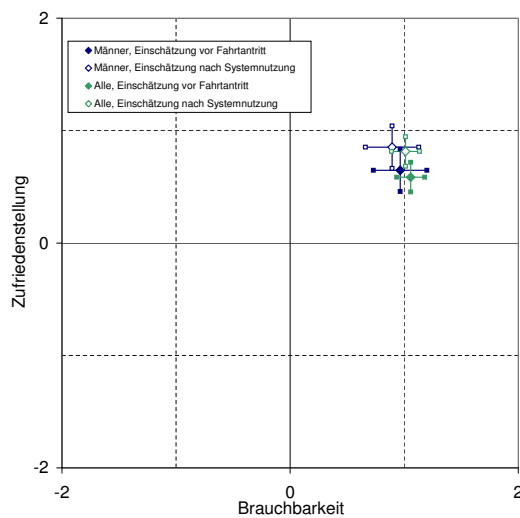
Hot Spot Warning

Einzelfragen Auch für die Hot Spot Warning wurde zunächst eine Auswertung der Einzelfragen im Vorher-Nachher-Vergleich durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7.4 auf Seite 85 aufgeführt. In Abbildung 7.4 auf Seite 86 sind die Bewertungen der Probanden der Untersuchungsgruppe sowohl gemeinsam, als auch nach Geschlecht für die Speed Limit Warning als Vorher-Nachher-Vergleich dargestellt. Die Abbildungen E.16 bis E.30 auf den Seiten 230–244 stellen die übrigen Auswertungen nach den Nutzergruppen dar. Im Einzelnen ergaben sich folgende Bewertungen:

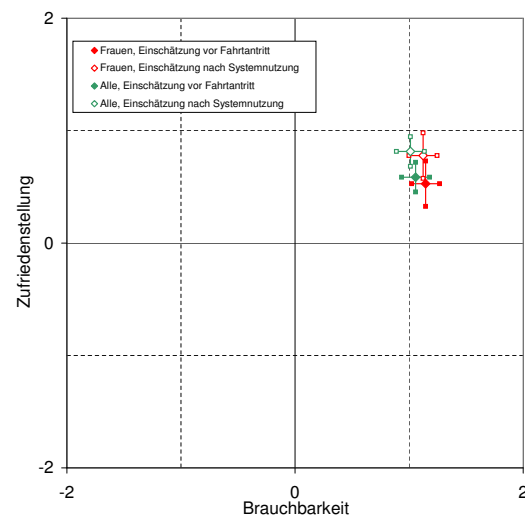
- „Brauchbarkeit“
 - Bei den Fragen, die zum Konstrukt *Brauchbarkeit* gehören, sind erheblich mehr und größere Effekte zu verzeichnen als bei der Zufriedenstellung. Hier sticht vor allem das Paar „unnötig-effizient“ hervor, bei dem in fünf von 15 Gruppen signifikante Effekte zu verzeichnen sind. Alle anderen Begriffspaare dagegen haben in maximal zwei von 15 Paaren Effekte. Auffällig ist, dass bei drei der fünf signifikanten Effekte



(a) Einzelfragen



(b) Alle und Männer



(c) Alle und Frauen

	Vor Fahrtantritt						Nach der Fahrt					
	Brauchbarkeit			Zufriedenstellung			Brauchbarkeit			Zufriedenstellung		
	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI
Alle	0,934	1,057	1,18	0,454	0,586	0,717	0,888	1,011	1,344	0,683	0,814	0,945
Männer	0,73	0,965	1,2	0,458	0,647	0,836	0,66	0,894	1,128	0,664	0,853	1,042
Frauen	1,021	1,144	1,267	0,326	0,528	0,73	0,999	1,122	1,245	0,576	0,778	0,98

(d)

Abbildung 7.3.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach Geschlecht. Die Spannweiten der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle (d).

Frauen die jeweilige Gruppe dominieren (Frauen: $z = -2,18, p < 0,05, r = -0,37$, Personen ohne Erfahrung mit FAS: $z = -1,96, p < 0,05, r = -0,49$ und Frauen mit hoher Fahrerfahrung: $z = -2,25, p < 0,05, r = 0,80$).

- Die Gruppe der Frauen mit hoher Fahrerfahrung weist insgesamt die höchsten signifikanten Effekt auf. Alle Bewertungen sind nach der Systemnutzung erheblich negativer. Das System wird als weniger gut ($z = -2,26, p < 0,05, r = -0,80$), weniger effizient ($z = -2,25, p < 0,05, r = -0,80$) und weniger hilfreich ($z = -2,23, p < 0,05, r = -0,79$) eingestuft als in der Vorher-Bewertung.
- Zusätzlich bewerten Männer mit geringer Fahrerfahrung die HSW als erheblich weniger nützlich ($z = -2,07, p < 0,05, r = -0,78$), eine ähnliche, wenn auch nicht so starke Einschätzung wird von „Allen“ geteilt ($z = -2,20, p < 0,05, r = -0,37$).
- Außerdem weist die Gruppe der Männer ohne Erfahrung mit FAS eine negative Bewertung für das Paar „hilfreich-wertlos“ auf ($z = -2,13, p < 0,05, r = -0,53$).
- Im Konstrukt *Zufriedenstellung* sind signifikante negative Effekte ausschließlich für das Begriffspaar „angenehm-unangenehm“ zu verzeichnen, die Effekte sind klar von männlichen Probanden dominiert. Der größte Effekt ist bei der Gruppe der Männer mit geringer Fahrerfahrung zu verzeichnen ($z = -2,24, p < 0,05, r = -0,85$), gefolgt von allen Männern ($z = -2,11, p < 0,05, r = -0,52$) und Personen mit Erfahrung mit FAS ($z = -2,11, p < 0,05, r = -0,47$). Diese starken Effekte reichen aus, um in der Gruppe „Alle“ die indifferenten Bewertungen der weiblichen Probanden zu überlagern ($z = -2,18, p < 0,05, r = -0,36$).

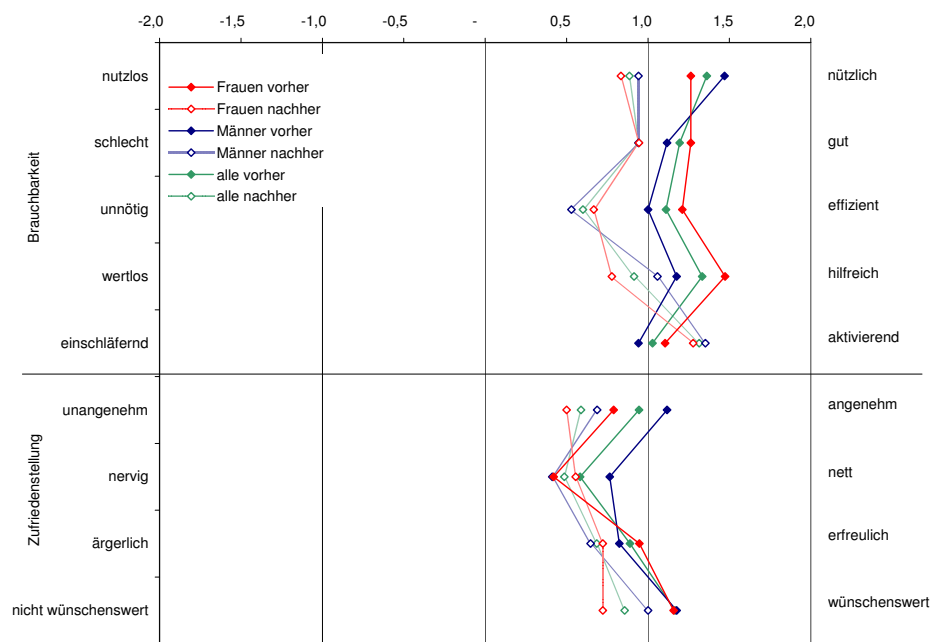
Konstrukte Brauchbarkeit und Zufriedenstellung Abbildung 7.4 auf Seite 86, (b) und (c) stellen die aus den Einzelfragen zusammengesetzten Bewertungen für Brauchbarkeit und Zufriedenstellung mit den dazugehörigen 95 %-Konfidenzintervallen dar. Auch wenn die Veränderungen im Wilcoxon-Test nie signifikant sind, sind Tendenzen erkennbar: Die Bewertungen der Probanden verschieben sich nach der Systemnutzung für beide Dimensionen in Richtung des negativen Bereichs, das System wird also nach der Fahrt insgesamt weniger positiv beurteilt. Dennoch ergeben sich nie Bewertungen im negativen Wertebereich der Skalen.

7.2. Subjektive Bewertungen

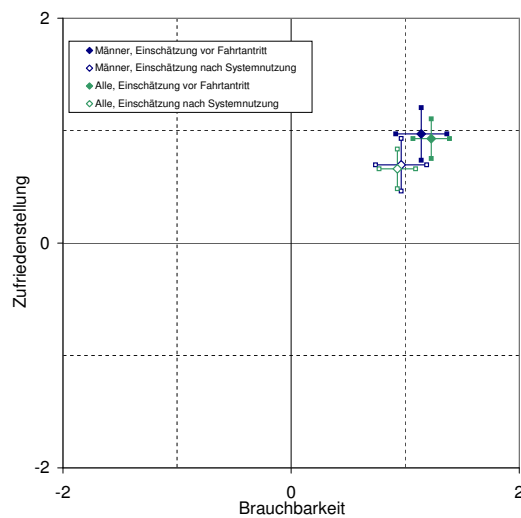
Tabelle 7.4.: Signifikanzen und Effekte der Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung für die Hot Spot Warning nach Van der Laan u. a. (1997). Mindestens signifikante Werte sind **fett**, Effekte nach Cohen (1988) in **klein**, **mittel** und **groß** differenziert.

	N	Brauchbarkeit					Zufriedenstellung			
		nutzlos nützlich	schlecht gut	unnötig effizient	wertlos hilfreich	einschläfernd aktivierend	unangenehm angenehm	nervig nett	ärgerlich erfreulich	nichtwünschenswert wünschenswert
Alle	36									
Z		-2,2031	-1,1570	-2,7328	-1,9330	-1,7889	-2,1832	-0,3081	-1,1981	-1,8006
Signifikanz		0,0276	0,2473	0,0063	0,0532	0,0736	0,0290	0,7580	0,2309	0,0718
Effektgröße		-0,3672	-0,1928	-0,4555	-0,3222	-0,2981	-0,3639	-0,0513	-0,1997	-0,3001
Männer	17									
Z		-1,5361	-0,6762	-1,9025	-0,3722	-1,9332	-2,1106	-1,1821	-0,6598	-0,7493
Signifikanz		0,1245	0,4989	0,0571	0,7097	0,0532	0,0348	0,2372	0,5094	0,4537
Effektgröße		-0,3725	-0,1640	-0,4614	-0,0903	-0,4689	-0,5119	-0,2867	-0,1600	-0,1817
Frauen	19									
Z		-1,6032	-0,9662	-1,9657	-2,2284	-0,5866	-1,2593	-0,7322	-1,0316	-1,7731
Signifikanz		0,1089	0,3339	0,0493	0,0259	0,5575	0,2079	0,4640	0,3023	0,0762
Effektgröße		-0,3678	-0,2217	-0,4510	-0,5112	0,1279	-0,2889	-0,1680	-0,2367	0,0175
Alle, Erfahrung mit FAS	20									
Z		-1,2127	-0,6762	-1,9025	-0,4200	-2,3321	-2,1106	-	-0,4620	-0,5133
Signifikanz		0,2253	0,4989	0,0571	0,6745	0,0197	0,0348	1,0000	0,6441	0,6078
Effektgröße		-0,2712	-0,1512	-0,4254	-0,0939	0,0044	-0,4719	-	-0,1033	0,1359
Alle, keine Erfahrung mit FAS	16									
Z		-1,8838	-0,9662	-1,9657	-2,1315	-0,3333	-1,2593	-0,5416	-1,1821	-1,9582
Signifikanz		0,0596	0,3339	0,0493	0,0330	0,7389	0,2079	0,5881	0,2372	0,0502
Effektgröße		-0,4709	-0,2416	-0,4914	-0,5329	0,1847	-0,3148	-0,1354	-0,2955	0,0126
Männer, Erfahrung mit FAS	14									
Z		-1,1030	-	-1,4060	-0,3122	-1,9332	-1,6330	-0,4620	-	-0,2636
Signifikanz		0,2700	1,0000	0,1597	0,7549	0,0532	0,1025	0,6441	1,0000	0,7921
Effektgröße		-0,2948	-	-0,3758	-0,0834	0,0142	-0,4364	-0,1235	-	0,2117
Männer, keine Erfahrung mit FAS	3									
Z		-1,3416	-1,3416	-1,3416	-1,3416	-	-1,3416	-1,4142	-1,3416	-1,4142
Signifikanz		0,1797	0,1797	0,1797	0,1797	1,0000	0,1797	0,1573	0,1797	0,1573
Effektgröße		-0,7746	-0,7746	-0,7746	-0,7746	0,5774	-0,7746	-0,8165	-0,7746	0,0908
Frauen, Erfahrung mit FAS	6									
Z		-0,4472	-1,3416	-1,3416	-1,7321	-1,3416	-1,3416	-1,4142	-1,4142	-1,0000
Signifikanz		0,6547	0,1797	0,1797	0,0833	0,1797	0,1797	0,1573	0,1573	0,3173
Effektgröße		-0,1826	-0,5477	-0,5477	-0,7071	0,0734	-0,5477	-0,5774	-0,5774	0,1295
Frauen, keine Erfahrung mit FAS	13									
Z		-1,5076	-0,4708	-1,5823	-1,7812	-0,3333	-0,7415	-0,3018	-0,6598	-1,5795
Signifikanz		0,1316	0,6378	0,1136	0,0749	0,7389	0,4584	0,7628	0,5094	0,1142
Effektgröße		-0,4181	-0,1306	-0,4389	-0,4940	0,2049	-0,2056	-0,0837	-0,1830	0,0317
Alle, Hohe Fahrerfahrung	18									
Z		-1,4742	-1,2901	-2,3321	-1,2883	-2,7136	-1,9295	-0,3271	-0,6598	-1,4076
Signifikanz		0,1404	0,1970	0,0197	0,1977	0,0067	0,0537	0,7436	0,5094	0,1593
Effektgröße		-0,3475	-0,3041	-0,5497	-0,3036	0,0016	-0,4548	-0,0771	-0,1555	0,0375
Alle, Geringe Fahrerfahrung	18									
Z		-1,6827	-0,3665	-1,6915	-1,5392	-2,4279	-1,2545	-0,0812	-1,0316	-1,1852
Signifikanz		0,0924	0,7140	0,0907	0,1238	0,0152	0,2096	0,9352	0,3023	0,2359
Effektgröße		-0,3966	-0,0864	-0,3987	-0,3628	0,0036	-0,2957	-0,0191	-0,2432	0,0556
Männer, hohe Fahrerfahrung	10									
Z		-0,3468	-0,6325	-0,5774	-0,6489	-2,4495	-0,8165	-0,2887	-0,2636	-
Signifikanz		0,7287	0,5271	0,5637	0,5164	0,0143	0,4142	0,7728	0,7921	1,0000
Effektgröße		-0,1097	-0,2000	-0,1826	-0,2052	0,0045	-0,2582	-0,0913	-0,0834	0,3162
Männer, geringe Fahrerfahrung	7									
Z		-2,0702	-1,6667	-1,8226	-1,4142	-1,6330	-2,2361	-1,6667	-1,4142	-1,1339
Signifikanz		0,0384	0,0956	0,0684	0,1573	0,1025	0,0253	0,0956	0,1573	0,2568
Effektgröße		-0,7825	-0,6299	-0,6889	-0,5345	0,0387	-0,8452	-0,6299	-0,5345	0,0971
Frauen, hohe Fahrerfahrung	8									
Z		-1,8226	-2,2645	-2,2514	-2,2323	-1,3416	-1,8898	-	-1,4142	-1,8411
Signifikanz		0,0684	0,0235	0,0244	0,0256	0,1797	0,0588	1,0000	0,1573	0,0656
Effektgröße		-0,6444	-0,8006	-0,7960	-0,7892	0,0635	-0,6682	-	-0,5000	0,0232
Frauen, geringe Fahrerfahrung	10									
Z		-0,5315	-0,7505	-0,5521	-0,8281	-1,8898	-0,2887	-0,9567	-0,2498	-0,7071
Signifikanz		0,5951	0,4530	0,5809	0,4076	0,0588	0,7728	0,3387	0,8028	0,4795
Effektgröße		-0,1603	-0,2263	-0,1665	-0,2497	0,0177	-0,0870	-0,2885	-0,0753	0,1446

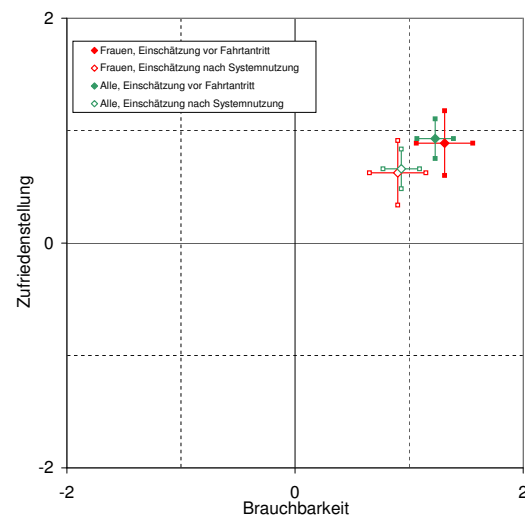
7. Ergebnisse



(a) Einzelfragen



(b) Alle und Männer



(c) Alle und Frauen

	Vor Fahrtantritt						Nach der Fahrt					
	Brauchbarkeit			Zufriedenstellung			Brauchbarkeit			Zufriedenstellung		
	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI
Alle	1,069	1,229	1,388	0,752	0,929	1,105	0,772	0,931	1,091	0,483	0,659	0,836
Männer	0,917	1,141	1,365	0,737	0,971	1,204	0,741	0,965	1,189	0,462	0,696	0,93
Frauen	1,064	1,311	1,559	0,602	0,889	1,177	0,653	0,9	1,147	0,338	0,625	0,912

(d)

Abbildung 7.4.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vorher/ nachher: Auswertung nach Geschlecht. Die Spannweiten der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle (d).

7.2.3. System Usability Scale

Speed Limit Warning

Die Gebrauchstauglichkeit der Speed Limit Warning wurde von den Probanden im Mittel mit einem SUS-Wert von 85,4 ($s = 1,55$) bewertet, sie liegt also im obersten Viertel der von 0 bis 100 reichenden Bewertungsskala (vgl. Abbildung 7.5). Die Unterschiede zwischen den Bewertungen in Abhängigkeit von Geschlecht, der Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen oder der Fahrerfahrung waren nie signifikant (vgl. Abbildungen F.1 bis F.5 auf den Seiten 246–250). Die Konfidenzintervalle sind jedesmal so groß, dass auch tendenziellen Aussagen nicht abgeleitet werden können.

Fragen, die auf die Bedienungsfreundlichkeit, die Komplexität oder die Nutzbarkeit abzielen, wurden sehr positiv beantwortet. Dagegen sind deutlich schlechtere Beurteilungen bezüglich der regelmäßigen Nutzung zu erkennen. Die Einbindung der Funktion als auch die Unstimmigkeiten wurden ebenfalls weniger positiv beurteilt. Bei den beiden letztgenannten ist eine ähnliche Tendenz in Bezug auf die geschlechtsspezifische Bewertung zu erkennen, Männer beurteilen beide Punkte jeweils schlechter als Frauen, wenn auch nicht signifikant unterschiedlich (Einbindung der Funktion: Männer $\bar{x} = 3,53$, Frauen $\bar{x} = 4,16$, $U = 105,5$, nicht signifikant, $0,05 < p < 0,1$; Unstimmigkeiten: Männer $\bar{x} = 2,41$, Frauen $\bar{x} = 2,16$, $U = 147,5$, nicht signifikant, vgl. Abbildung 7.6 auf der nächsten Seite).

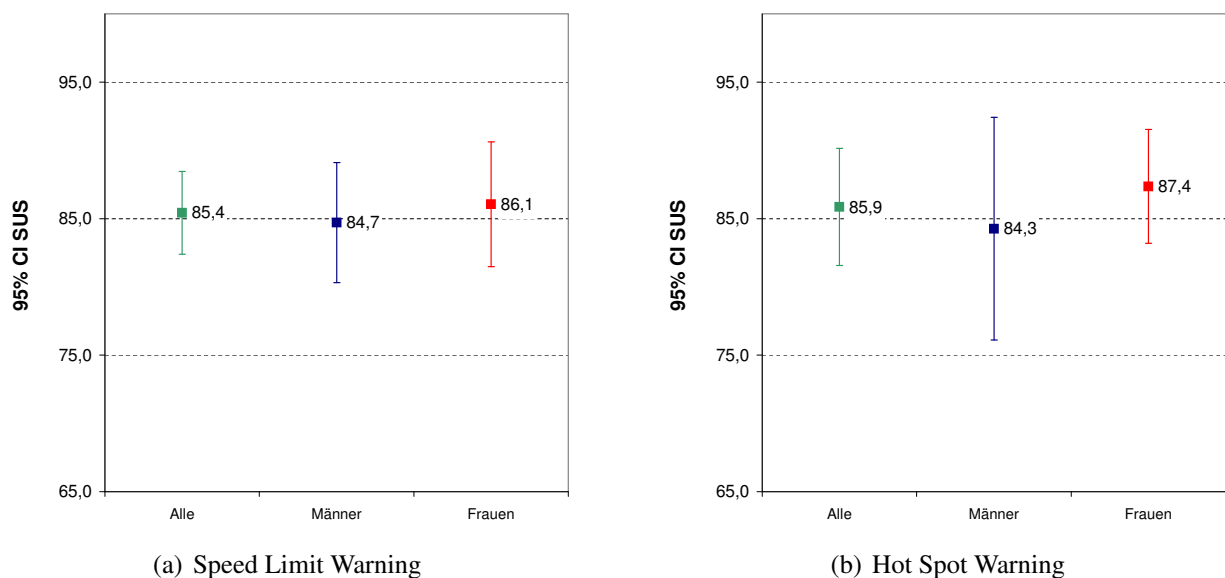


Abbildung 7.5.: Bewertung der Gebrauchstauglichkeit der beiden Applikationen nach dem System Usability Scale von Brooke (1996) (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).

7. Ergebnisse

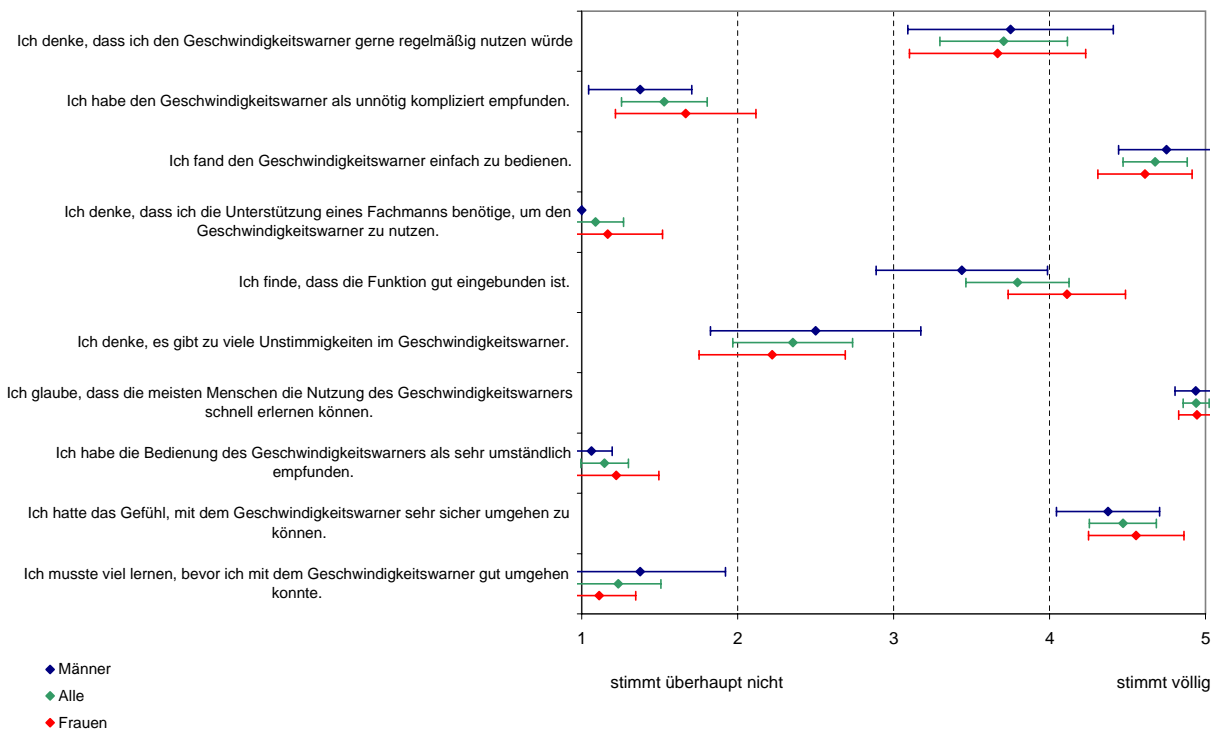


Abbildung 7.6.: Bewertung der Einzelfragen für die Speed Limit Warning nach dem System Usability Scale von Brooke (1996) (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).

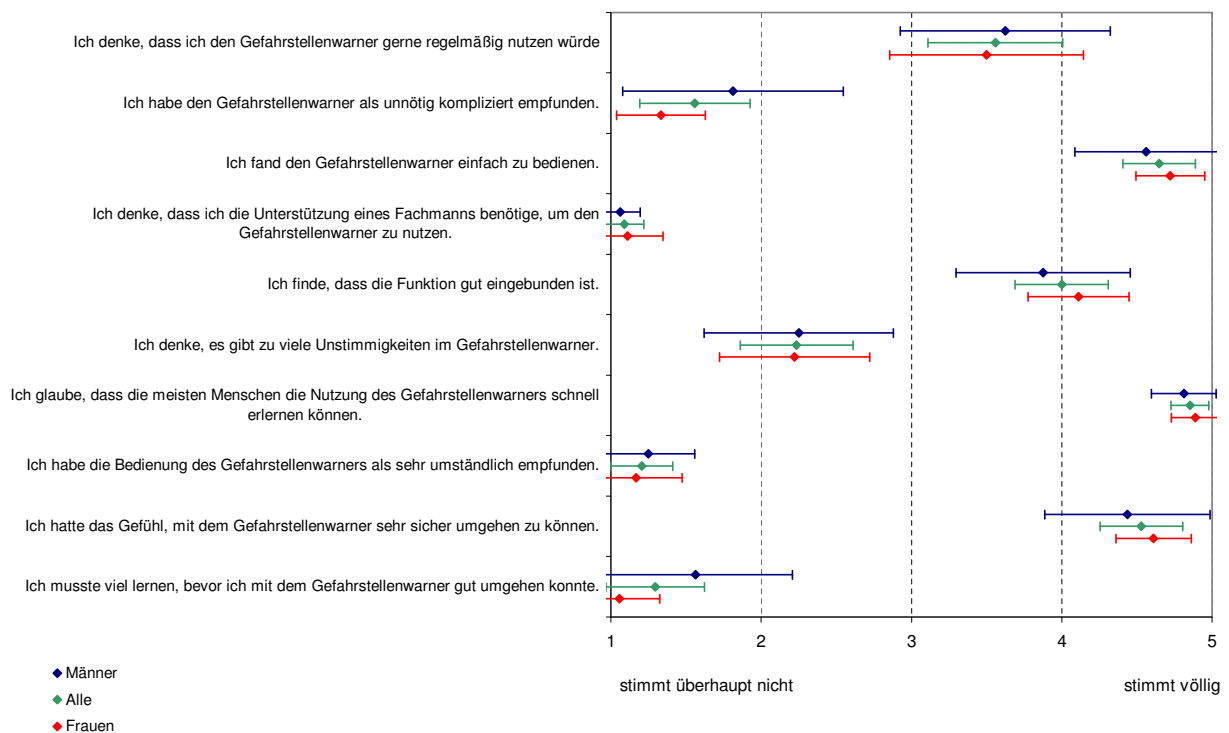


Abbildung 7.7.: Bewertung der Einzelfragen für die Hot Spot Warning nach dem System Usability Scale von Brooke (1996) (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).

Hot Spot Warning

Für die Hot Spot Warning ergeben sich Einschätzungen, die sowohl für den SUS Wert von 85,9 ($s = 2, 19$), als auch hinsichtlich der Einzelfragen fast nicht von denen der Speed Limit Warning zu unterscheiden ist. Auch hier waren die Unterschiede zwischen den Gruppen, die nach Geschlecht, Erfahrungen mit Fahrerassistenzsystemen oder der Fahrerfahrung gebildet wurden, nie signifikant, die großen Überschneidungen der Konfidenzintervalle verbieten auch hier tendenzielle Aussagen (vgl. Abbildung 7.7 auf der vorherigen Seite).

Die Einzelfragen zeigen wie bei der Speed Limit Warning überwiegend positive Bewertungen, nur für die regelmäßige Nutzung, die Einbindung und die Unstimmigkeiten sind die Bewertungen tendenziell schlechter. Geschlechtsspezifische Unterschiede sind nicht signifikant.

7.3. Klassifizierung der Probanden für weitere Untersuchungen

Da sich bei der nutzerklassenspezifischen Auswertung der subjektiven Bewertungen keine relevanten signifikanten Effekte ergeben haben, wird in allen folgenden Auswertungen auf eine entsprechende Unterscheidung verzichtet und die beiden Kollektive der Kontroll- und der Untersuchungsgruppe ohne weitere Differenzierung miteinander verglichen. Das hier untersuchte System ist zudem in keiner Weise spezifisch auf eine bestimmte Nutzergruppe abgestimmt. Weiterhin gab es keinerlei Hinweise, weder in der Literatur, noch bei den Testfahrten, die auf eine klassenspezifische Leistungsfähigkeit schließen lassen, so dass eine weitere Klassifizierung nicht notwendig ist. Dadurch wird der Umfang der Klassen nicht verkleinert, so dass eher signifikante Effekte erreicht werden können.

7.4. Geschwindigkeiten

Die mittleren Geschwindigkeiten sind der wichtigste Indikator, um Veränderungen der Verkehrssicherheit zu identifizieren, da Änderungen der Geschwindigkeit direkt mit der von Nilsson (2000) entwickelten Formel in veränderte Unfallkennzahlen umgerechnet werden können (vgl. auch Elvik u. a., 2004).

7.4.1. Voraussetzungstests

Die aufgezeichneten freien Geschwindigkeiten innerhalb einer Fahrt waren nie normalverteilt, die Kolmogorow-Smirnow-Tests ergaben für jedes einzelne Geschwindigkeitsprofil höchstsignifikante Unterschiede zur Normalverteilung ($p < 0,001$ in allen Fällen). Die Ursache dafür ist, dass bei einer Vorgabe zulässiger Höchstgeschwindigkeiten keine absolut freie Geschwindigkeitswahl stattfinden kann. Stattdessen weisen gerade bei freier und durch vorausfahrende Fahrzeuge, Lichtsignalanlagen oder andere Hindernisse nicht beeinflusster Fahrt die entsprechenden empirischen Geschwindigkeitsverteilungen Häufungen im Bereich der Geschwindigkeitsbeschränkungen auf. Diese Häufungen liegen nicht notwendigerweise unterhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, aber doch zumindest in der Nähe. Abbildung 7.8 zeigt genau diesen Fall: Es liegt keine Normalverteilung vor (Kolmogorow-Smirnow, $D(11168) = 0,054$, $p < 0,001$), charakteristische Häufungen der Geschwindigkeitswerte zeigen sich im Bereich von $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ und $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ bzw. $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, also in genau den Größenordnungen, mit denen der Großteil der Teststrecke geschwindigkeitsbeschränkt ist. Als Folge dessen können für Vergleiche einzelner Geschwindigkeitsprofile untereinander keine parametrischen Tests verwendet werden.

Die mittleren Geschwindigkeiten, die die Probanden auf der Teststrecke und den vier Abschnitten wählten, waren wiederum normalverteilt (Kolmogorow-Smirnow, $p > 0,05$ in allen

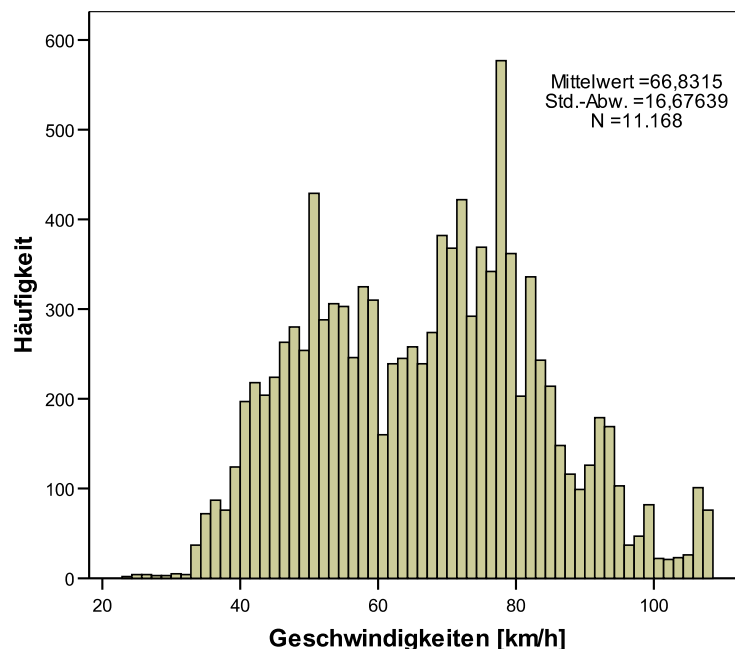


Abbildung 7.8.: Histogramm der Geschwindigkeiten bei unbeeinflusster Fahrt (Daten eines Probanden der Untersuchungsgruppe aus Runde 1).

Tabelle 7.5.: Geschwindigkeiten in Runde 1 der Kontroll- und Untersuchungsgruppe (T-Test für unabhängige Stichproben).

	Mittlere Geschwindigkeit \bar{v}			dF	t(dF)	Effektgröße	Signifikanz
	Kontroll-Gruppe	Untersuchungs-Gruppe	Δ			r	
	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	-	-	-	-
Gesamtrunde	65,06	63,42	1,64	60	1,521	0,193	n. s.
Sektion 1	60,58	59,32	1,26	60	1,042	0,133	n. s.
Sektion 2	58,77	56,26	2,51	60	2,180	0,271	n. s.
Sektion 3	71,43	68,65	2,77	61	1,842	0,230	n. s.
Sektion 4	74,68	72,30	2,39	59	1,416	0,181	n. s.

Fällen). Dies gilt auch bei einer getrennten Betrachtung der Kontroll- und der Untersuchungsgruppe (vgl. Tabelle G.1 auf Seite 257). Damit können parametrische Tests verwendet werden, um Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren.

Die Überprüfung der Unterschiede zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe hinsichtlich des Geschwindigkeitswahlverhaltens in Runde 1 ergab weder für die Gesamtrunde, noch für die Sektionen signifikante Werte (vgl. Tabelle 7.5). Damit sind beide Gruppen vergleichbar und Unterschiede in den Daten in Runde 2 können auf den Einfluss des DWS zurück geführt werden.

7.4.2. Geschwindigkeiten der Kontrollgruppe

Die Geschwindigkeiten der Kontrollgruppe wurden zunächst separat untersucht, um herauszufinden, ob sich zwischen der ersten und der zweiten Runde der Testfahrten auf der Teststrecke ein unterschiedliches Geschwindigkeitswahlverhalten einstellt. Dazu wurden zuerst die Fahrten in den Runden 1 und 2 eines jeden einzelnen Probanden miteinander verglichen und danach die mittleren Geschwindigkeiten aller Probanden getrennt nach Gesamtstrecke und Sektionen analysiert.

Die Geschwindigkeiten eines jeden Probanden änderten sich in der überwiegenden Anzahl der Fällen zwischen der ersten und der zweiten Runde mindestens signifikant, in der Regel jedoch höchstsignifikant ($p < 0,001$ in 22 Fällen, $p < 0,05$ in einem Fall, $p > 0,05$ in zwei Fällen), allerdings mit sehr geringen Effektgrößen, was aus der Kombination von großem Stichprobenumfang mit vergleichsweise geringen Geschwindigkeitsänderungen resultiert (vgl. Tabelle G.2 auf Seite 258).

Die frei gewählten mittleren Geschwindigkeiten der Probanden der Kontrollgruppe lagen in

Tabelle 7.6.: Geschwindigkeiten der Kontrollgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für gepaarte Stichproben).

	Mittlere Geschwindigkeit \bar{v}		dF	t(dF)	Effektgröße	Signifikanz
	Runde 1	Runde 2	Δ		r	
	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	-	-	-
Gesamtrunde	64,77	66,04	1,27	27	-1,609	0,296
Sektion 1	60,51	62,32	1,81	27	-2,653	0,455
Sektion 2	58,53	59,99	1,46	27	-1,949	0,351
Sektion 3	70,98	70,75	-0,23	27	0,431	0,081
Sektion 4	74,21	76,10	1,89	24	-1,076	0,214

Runde 1 zwischen $58,53 \frac{km}{h}$ und $74,21 \frac{km}{h}$, in Runde 2 zwischen $59,99 \frac{km}{h}$ und $76,10 \frac{km}{h}$ (Tabelle 7.6). Bezogen auf die komplette Teststrecke änderten sich die mittleren Geschwindigkeiten zwischen Runde 1 und Runde 2 nicht signifikant. Signifikante Zunahmen der mittleren Geschwindigkeiten sind in Sektion 1 und Sektion 2 zu verzeichnen, der Effekt in Sektion 1 liegt dabei knapp unter dem Schwellwert von $r = 0,5$ für große Effekte ($r = 0,455$). Abbildung 7.9 auf der nächsten Seite zeigt jedoch sowohl für die Gesamtstrecke als auch für die Sektionen 1, 2 und 4 tendenzielle Geschwindigkeitszunahmen mit Beträgen zwischen $1,27 \frac{km}{h}$ und $1,89 \frac{km}{h}$. Lediglich in Sektion 3 nahm die mittlere Geschwindigkeit aller Probanden minimal, jedoch nicht signifikant ab, der Effekt ist hier insgesamt am geringsten ($\Delta \bar{v} = -0,23 \frac{km}{h}$, $T(27) = 0,431$, $r = 0,081$, $p > 0,05$, vgl. auch Tabelle 7.6 und Abbildung 7.9 auf der nächsten Seite).

7.4.3. Geschwindigkeiten der Untersuchungsgruppe

Die mittleren Geschwindigkeiten der Untersuchungsgruppe schwankten in Runde 1 zwischen $59,32 \frac{km}{h}$ und $72,30 \frac{km}{h}$ und in Runde 2 zwischen $58,35 \frac{km}{h}$ und $71,74 \frac{km}{h}$ (vgl. Tabelle 7.7 auf der nächsten Seite und Abbildung 7.10 auf Seite 94).

Die Untersuchung jedes einzelnen Probanden ergab höchstsignifikante Unterschiede zwischen Runde 1 und Runde 2 in 23 Fällen, je einen hochsignifikanten bzw. signifikanten Fall und zwei nicht signifikante Unterschiede, auch hier sind die Effekte überwiegend klein (vgl. Tabelle G.3 auf Seite 259).

Die mittleren Geschwindigkeiten unterscheiden sich ausschließlich in Sektion 2 signifikant, in der die SLW nicht oder kaum zum Tragen kam. Hier nahm die mittlere Geschwindigkeit höchstsignifikant von $56,26 \frac{km}{h}$ um $2,09 \frac{km}{h}$ auf $58,35 \frac{km}{h}$ zu ($t(32) = -3,539$, $r = 0,53$, $p <$

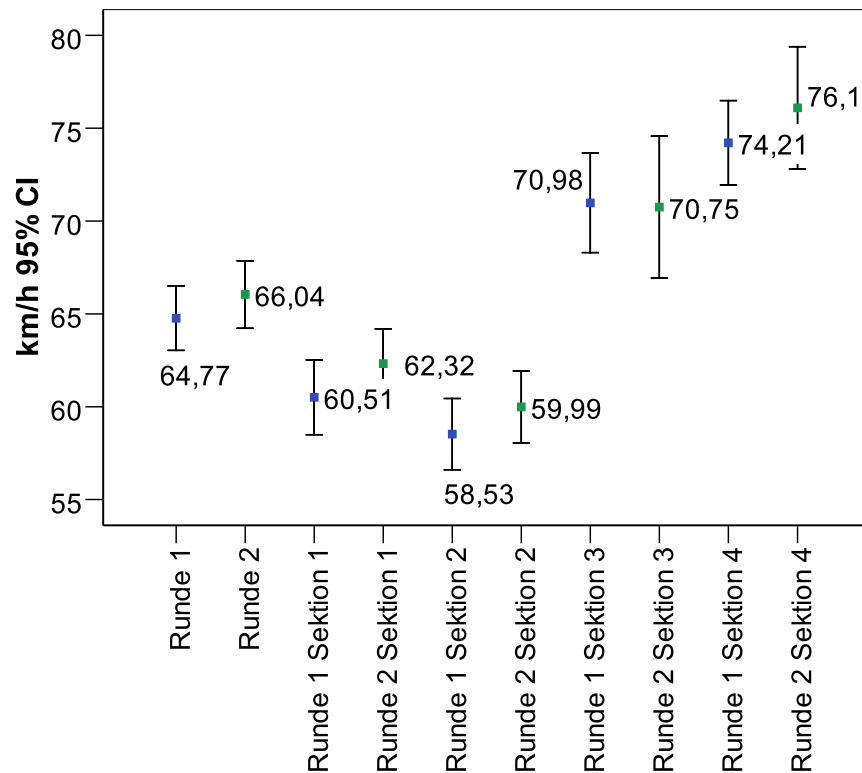


Abbildung 7.9.: Geschwindigkeiten der Kontrollgruppe in beiden Runden im Vergleich (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).

Tabelle 7.7.: Geschwindigkeiten der Untersuchungsgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für gepaarte Stichproben).

	Mittlere Geschwindigkeit \bar{v}			dF	t(dF)	Effektgröße	Signifikanz
	Runde	Runde	Δ			r	
	1	2					
	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	-	-	-	-
Gesamtrunde	63,42	63,20	-0,22	32	-0,404	0,071	n. s.
Sektion 1	59,32	59,19	-0,13	32	-0,426	0,075	n. s.
Sektion 2	56,26	58,35	2,09	32	3,539	0,530	$p < 0,001$
Sektion 3	68,65	67,60	-1,05	33	-1,338	0,227	n. s.
Sektion 4	72,30	71,74	-0,56	33	-0,313	0,054	n. s.

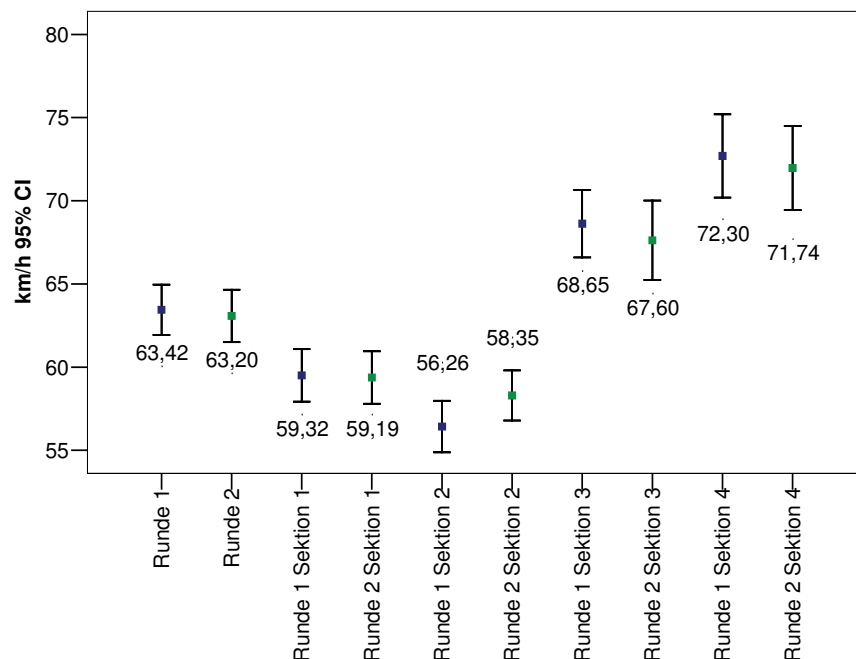


Abbildung 7.10.: Geschwindigkeiten der Untersuchungsgruppe in beiden Runden im Vergleich (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).

0,001).

7.4.4. Einfluss des DWS auf die Geschwindigkeitwahl

Um den Einfluss des Driver Warning Systems auf die Geschwindigkeitwahl zu identifizieren, wurden die mittleren Geschwindigkeiten der Runde 2 der Probanden der Kontrollgruppe mit denen der Untersuchungsgruppe verglichen. Der Einfluss des Gesamtsystems kann anhand der Daten der Gesamtrunden, sowie der Sektionen 1, 3 und 4 untersucht werden. Sektion 2 dient aufgrund der Streckencharakteristik und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zur separaten Analyse des Einflusses der Hot Spot Warning. Sektion 2 ist überwiegend mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von $100 \frac{km}{h}$ versehen, die durch kaum einen Probanden regelmäßig überschritten wurde. Warnungen der Hot Spot Warning wurden dagegen regelmäßig ausgegeben, so dass deren Wirkung in diesem Zusammenhang ohne die parallele Einwirkung von Warnungen der Speed Limit Warning untersucht werden können.

Gesamtrunde und Sektionen 1, 3 und 4

Bezogen auf die gesamte Runde stellte sich eine hochsignifikante mittlere Reduktion von etwa $3 \frac{km}{h}$ ein, was einer mittleren Effektgröße entspricht ($\bar{v}_{R2}^K = 66,08 \frac{km}{h}$, $\bar{v}_{R2}^U = 63,01 \frac{km}{h}$, $T(62) =$

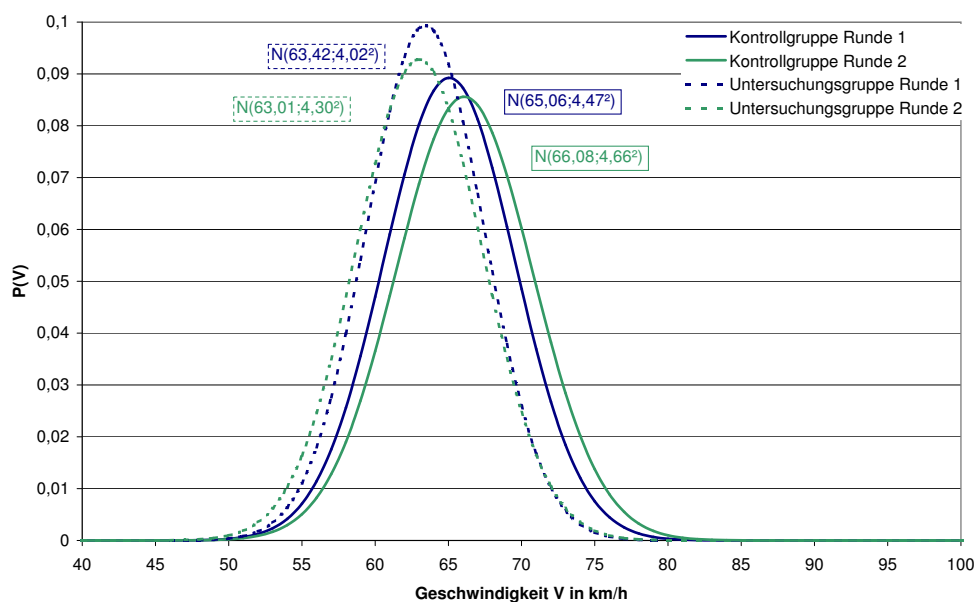


Abbildung 7.11.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung der Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 1 und Runde 2. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

2,744, $p < 0,01$, $r = 0,329$, vgl. Tabelle 7.8 auf der nächsten Seite und Abbildung 7.11). Die Veränderungen der mittleren Geschwindigkeiten in den Sektionen 1 und 4 sind mit $3,14 \frac{km}{h}$ und $3,69 \frac{km}{h}$ sehr ähnlich, die Effektgrößen sind jeweils mittel, die Unterschiede sind dabei hochsignifikant in Sektion 1, bzw. signifikant in Sektion 4 (vgl. Tabelle 7.8 auf der nächsten Seite).

Der größte Effekt bei den Geschwindigkeitsänderungen ist in Sektion 1 mit $r = 0,336$ ($T(62) = 2,812$, $p < 0,01$) zu verzeichnen. Im Bereich der Sektion 4, die überwiegend aus auf $100 \frac{km}{h}$ beschränkten Bundesstraßen mit einigen Ortsdurchfahrten besteht, ist der Effekt immer noch signifikant mit einer mittleren Effektgröße ($T(61) = 1,842$, $p < 0,05$, $r = 0,229$).

Sektion 3 weist keine signifikanten Änderungen der Geschwindigkeiten auf, auch wenn sich die mittlere Geschwindigkeit von $70,62 \frac{km}{h}$ relativ stark um $3,10 \frac{km}{h}$ auf $67,52 \frac{km}{h}$ reduziert, was an der vergleichsweise hohen Streuung der mittleren Geschwindigkeiten liegt.

Die Abbildungen G.9, G.10 und G.11 auf den Seiten 264 ff. stellen die aus den Lage- und Streumaßen errechneten theoretischen Geschwindigkeitsverteilungen der Kontroll- und der Untersuchungsgruppe in der Runde 2 und den Sektionen 1 bis 4 dar. Bemerkenswert ist hier die durchgehende Verringerung der Streumaße in der Gesamtrunde und allen Sektionen, die eine gleichmäßigere Geschwindigkeitswahl um den Mittelwert herum anzeigt (vgl. auch Tabelle 7.8 auf der nächsten Seite). In den theoretischen Geschwindigkeitsverteilungen der Abbildungen G.9

Tabelle 7.8.: Einfluss des DWS auf die Geschwindigkeitswahl der Probanden: Vergleich der Geschwindigkeiten zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in der zweiten Runde (T-Test für unabhängige Stichproben).

	Kontroll- gruppe		Untersuchungs- gruppe		ΔV	dF	t(dF)	Effektgröße r	Signifikanz
	\bar{v}	σ	\bar{v}	σ					
	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	-					
Gesamtrunde	66,08	4,66	63,01	4,30	-3,07	62	2,744	0,329	$p < 0,01$
Sektion 1	62,45	4,67	59,31	4,26	-3,14	62	2,812	0,336	$p < 0,01$
Sektion 2	60,23	4,81	58,30	4,16	-1,92	62	1,717	0,213	n. s.
Sektion 3	70,62	9,22	67,52	6,20	-3,10	62	1,605	0,199	n. s.
Sektion 4	75,49	8,41	71,49	7,49	-3,69	61	1,842	0,229	$p < 0,05$

bis G.11 ist dies durch die schlankeren Normalverteilungen erkennbar. Sektion 3 weist dabei für die Kontrollgruppe die insgesamt höchste Standardabweichung auf, der Unterschied in der Standardabweichung zur Untersuchungsgruppe ist hier am höchsten, das heißt, dass hier die Breite der Normalverteilung der Geschwindigkeiten am meisten reduziert wurde. Die Streumaße der Sektionen 3 und 4 liegen etwa $2 \frac{km}{h}$ über denen der Sektionen 1 und 2 sowie der Gesamtrunde.

Sektion 2

Sektion 2 weist keine signifikante Veränderung der mittleren Geschwindigkeit auf ($\bar{v}_{R2S2}^K = 60,23 \frac{km}{h}$, $\bar{v}_{R2S2}^U = 58,30 \frac{km}{h}$, $T(62) = 1,717$, $p > 0,05$).

Die Abbildung 7.12 auf der nächsten Seite stellt die aus den Lage- und Streumaßen errechnete theoretische Geschwindigkeitsverteilung der Kontroll- und der Untersuchungsgruppe in Sektion 2 der Runde 2 dar.

Da die HSW offensichtlich keinen signifikanten Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit der Probanden hat, wurde in Abschnitt 7.5 untersucht, ob sich die Geschwindigkeit lokal in der Nähe der Hot Spots ändert.

7.5. Lokale Geschwindigkeiten in Sektion 2

Die Analyse der mittleren Geschwindigkeiten in Abschnitt 7.4.4 ergab keine signifikante Änderung zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe. Dies könnte daran liegen, dass potenziell vorhandene lokale Geschwindigkeitsänderungen, die sich nur kurz vor oder im Gültigkeitsbe-

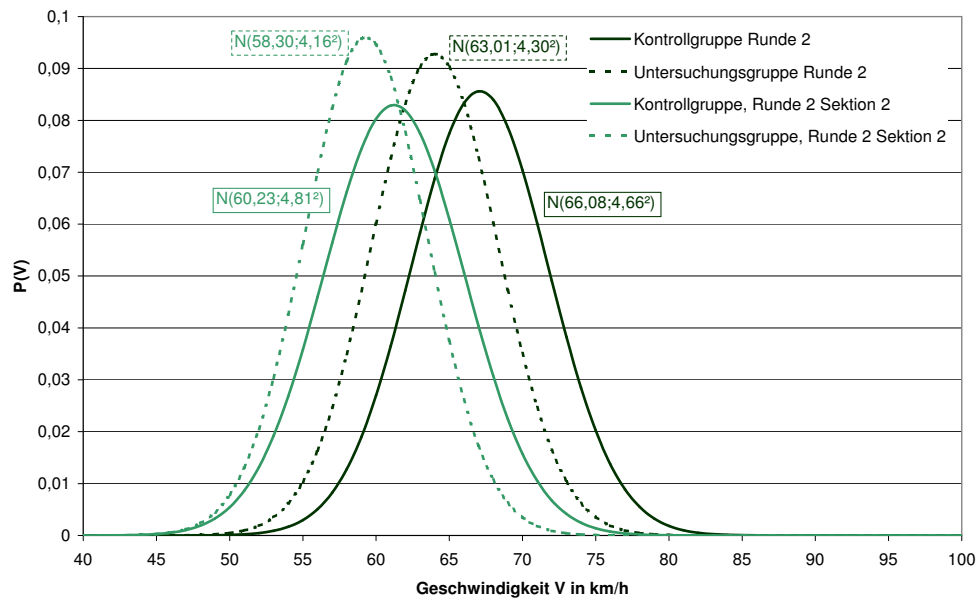


Abbildung 7.12.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2 und Sektion 2. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

reich eines Hot Spots befinden, aufgrund der vergleichsweise kurzen Abschnitte der Hot Spots nicht groß genug sind, um die Gesamtstichprobe in Sektion 2 zu beeinflussen. Daher werden die lokalen Geschwindigkeiten im Gültigkeitsbereich einer Hot Spot Warnung näher untersucht. Der Gültigkeitsbereich einer Hot Spot Warnung kann sowohl für Untersuchungs- als auch Kontrollgruppe aus den Logdateien der HSW abgeleitet werden, weil die Applikation auch für die Fahrten der Kontrollgruppe ausgeführt wurde und lediglich die Ausgabe der Warnungen an die Probanden unterbunden wurde.

7.5.1. Voraussetzungstests

Die lokalen Geschwindigkeiten in allen Gruppen in allen Runden waren stets normalverteilt, so dass parametrische Tests für die Untersuchung verwendet werden können.

Die lokalen Geschwindigkeiten der Kontroll- und Untersuchungsgruppe unterschieden sich mit $55,32 \frac{km}{h}$ bzw. $52,40 \frac{km}{h}$ nicht signifikant voneinander (vgl. Tabelle 7.9 auf der nächsten Seite).

7. Ergebnisse

Tabelle 7.9.: Lokale Geschwindigkeiten im Gültigkeitsbereich der Hot Spots in Runde 1 der Kontroll- und Untersuchungsgruppe im Vergleich (T-Test für unabhängige Stichproben).

	Mittlere lokale Geschwindigkeit \bar{v} Kontroll- Gruppe	Untersuchungs- Gruppe	Δ	dF	t(dF)	Effektgröße r	Signifikanz
	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	-	-	-	-
Sektion 2	55,32	52,40	-2,92	50	1,203	0,167	n. s.

Tabelle 7.10.: Lokale Geschwindigkeiten im Gültigkeitsbereich der Hot Spots der Kontrollgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für gepaarte Stichproben).

	Mittlere lokale Geschwindigkeit \bar{v} Runde 1	Runde 2	Δ	dF	t(dF)	Effektgröße r	Signifikanz
	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	-	-	-	-
Sektion 2	55,63	55,69	0,059	48	-0,023	0,003	n. s.

Tabelle 7.11.: Lokale Geschwindigkeiten im Gültigkeitsbereich der Hot Spots der Untersuchungsgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für gepaarte Stichproben).

	Mittlere lokale Geschwindigkeit \bar{v} Runde 1	Runde 2	Δ	dF	t(dF)	Effektgröße r	Signifikanz
	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	-	-	-	-
Sektion 2	53,12	52,83	-0,29	58	0,125	0,0164	n. s.

Tabelle 7.12.: Lokale Geschwindigkeiten im Gültigkeitsbereich der Hot Spots der Untersuchungsgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für unabhängige Stichproben).

	Mittlere lokale Geschwindigkeit \bar{v} Kontroll- gruppe	Untersuchungs- gruppe	Δ	dF	t(dF)	Effektgröße r	Signifikanz
	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	-	-	-	-
Sektion 2	55,86	51,59	-4,26	56	1,529	0,200	n. s.

7.5.2. lokale Geschwindigkeiten von Kontroll- und Untersuchungsgruppe

Die lokalen Geschwindigkeiten sowohl der Kontroll- als auch der Untersuchungsgruppe unterschieden sich nicht signifikant zwischen den beiden Runden, so dass weder Ermüdungs- noch Gewöhnungseffekte zu erkennen sind (vgl. Tabellen 7.10 und 7.11 auf der vorherigen Seite).

7.5.3. Einfluss der HSW auf die lokalen Geschwindigkeiten

Auch anhand der lokalen Geschwindigkeiten im Warnungsbereich der Hot Spots konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe festgestellt werden (vgl. Tabelle 7.12 auf der vorherigen Seite).

7.5.4. Einfluss der HSW auf Brems- und Gaspedalaktivierung

Nachdem auch die Untersuchung der lokalen Geschwindigkeiten keinen signifikanten Einfluss der HSW auf das Geschwindigkeitswahlverhalten zeigt, wurde eine detaillierte Analyse von Bremspedal- und Gaspedalreaktionen bei ausgewählten Datensätzen vorgenommen. Dabei stellte sich heraus, dass in der Regel bei einer Warnung der HSW zunächst der Fuß vom Gaspedal genommen wurde, dann aber unmittelbar wieder beschleunigt wurde, ohne dass eine signifikante lokale Veränderung der Geschwindigkeiten festgestellt werden konnte. Gefahrbremsungen als potenzielle Reaktion auf die Warnungen traten nie auf. Abbildung 7.13 auf der nächsten Seite zeigt beispielhaft ein solches Verhalten: Am Ortsausgang, an dem die zulässige Höchstgeschwindigkeit von $50 \frac{km}{h}$ auf $100 \frac{km}{h}$ angehoben wird (Stelle 1 in Abbildung 7.13), beschleunigt der Fahrer zunächst (Stelle 2 in Abbildung 7.13), bis das System eine Hot Spot Warnung ausgibt (Stelle 3 in Abbildung 7.13). Daraufhin nimmt der Fahrer seinen Fuß vom Gaspedal (Stelle 4 in Abbildung 7.13) und versucht, die Gefährdung einzuschätzen, auf die die Hot Spot Warnung hingewiesen hat (Erkenntnis aus Videoanalyse und Interview mit dem Fahrer nach der Fahrt), beschleunigt dann aber weiter, wenn auch mit einer geringeren Intensität (Bereich 5 in Abbildung 7.13).

7.6. Geschwindigkeitsüberschreitungen

Die Bestimmung von Dauer und Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen erfolgte anhand der Logfiles des DWS, das in allen Fahrten, auch denen der Kontrollgruppe, Daten mitschrieb.

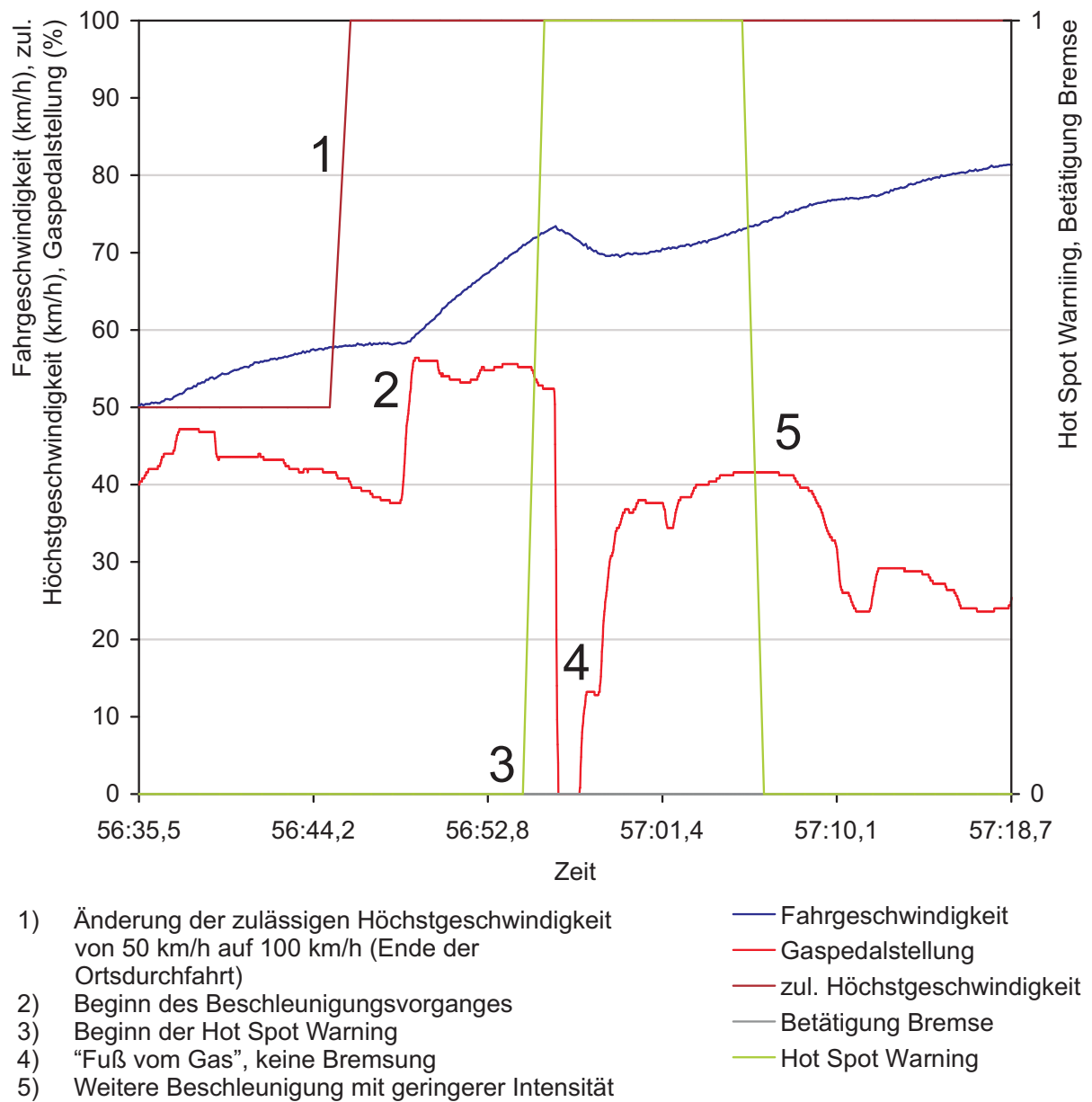


Abbildung 7.13.: Einfluss der Hot Spot Warning auf das Verhalten der Probanden hinsichtlich Geschwindigkeitswahl, Gaspedalbetätigung und Bremsverhalten.

Für die Fahrten der Kontrollgruppe wurde lediglich die optische und akustische Ausgabe der Informationen und Warnungen an die Probanden unterbunden, die Daten aber aufgezeichnet. Damit stehen für beide Gruppen Informationen zur Anzahl und Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen zwischen $6 \frac{km}{h}$ und $20 \frac{km}{h}$, sowie zur Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ zur Verfügung.

7.6.1. Voraussetzungstests

Um zwischen den Sektionen unterschiedlicher Länge vergleichbare Aussagen zu erhalten, wurde die Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen zunächst auf die Länge der gefahrenen Strecke normiert. Die Angaben erfolgen daher in Warnungen je km.

Sowohl Dauer als auch Anzahlen der Geschwindigkeitsüberschreitungen sind überwiegend normalverteilt (vgl. Tabellen H.1 bis H.3 auf den Seiten 267–268). Die Sektion 2 stellt hier die Ausnahme dar, die Verteilungen unterscheiden sich hier teilweise höchstsignifikant von einer Normalverteilung. Dementsprechend wurden die Untersuchungen mit parametrischen oder nicht-parametrischen Tests durchgeführt.

Tests auf gleiche Grundgesamtheit in Runde 1 ergaben signifikante Unterschiede in Sektion 2 sowohl für die Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ und über $20 \frac{km}{h}$ (Anzahl $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h} : U = 324,5, r = 0,308, \alpha < 0,05$, Anzahl $v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h} : U = 386, r = 0,294, \alpha < 0,05$). Der Einfluss des DWS auf das Fahrverhalten der Probanden kann demzufolge in Sektion 2 nicht anhand der beiden Indikatoren der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen bestimmt werden. Für die Gesamtrunden und alle anderen Sektionen ergaben sich dagegen keine Unterschiede, so dass hier die Unterschiede im Fahrverhalten der Probanden der Gruppen ausschließlich auf den Einfluss des DWS zurückgeführt werden können.

Für die Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen in Runde 1 ergaben sich nie signifikante Unterschiede (vgl. Tabelle 7.13 auf der nächsten Seite), damit sind für diesen Indikator die beiden Gruppen voll vergleichbar und Unterschiede in Runde 2 können vollständig auf Einflüsse des DWS zurückgeführt werden.

7.6.2. Geschwindigkeitsüberschreitungen der Kontrollgruppe

Im Mittel wurden in der Gesamtrunde etwa 0,8 Geschwindigkeitsüberschreitungen ($v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$) je km mit einer mittleren Dauer von 10 s bis 11 s registriert (vgl. Tabelle 7.14 auf Seite 104). Die meisten dieser Überschreitungen traten in beiden Runden mit etwa $1,3 \frac{1}{km}$ in Sektion 1 auf. Die geringste Anzahl an Überschreitungen ist erwartungsgemäß in Sektion 2 mit $0,246 \frac{1}{km}$ bzw. $0,324 \frac{1}{km}$ mit der geringsten Dauer (2,64 s bzw. 2,51 s) zu verzeichnen. Sektion 3 weist eine

7. Ergebnisse

Tabelle 7.13.: Test auf gleiche Grundgesamtheit der Indikatoren der Geschwindigkeitsbeschränkungen (Vergleich zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 1, Tests für unabhängige Stichproben).

Indikator	Mittelwerte		Testwerte der		Effekt- größe r	Signifikanz α
	Kontroll- gruppe	Untersuchungs- gruppe	Statistik			
Gesamtrunde						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,868	0,800	t= 1,053	dF= 61	0,134	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	10,137	8,039	U= 425,000	Z= 0,938	0,118	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,246	0,224	t= 0,138	dF= 61	0,018	n. s.
Sektion 1						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	1,284	1,138	t= 1,063	dF= 61	0,135	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	8,648	7,879	t= 0,606	dF= 61	0,077	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,286	0,224	U= 450,000	Z= 0,598	0,075	n. s.
Sektion 2						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,246	0,134	U= 324,500	Z= 2,448	0,308	< 0,05
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	2,644	1,806	U= 375,000	Z= 1,668	0,210	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,042	0,009	U= 386,000	Z= 2,331	0,294	< 0,05
Sektion 3						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,928	0,916	t= 0,138	dF= 61	0,018	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	9,604	9,456	t= 0,099	dF= 61	0,013	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,332	0,371	U= 442,000	Z= 0,709	0,089	n. s.
Sektion 4						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,627	0,615	t= 0,138	dF= 61	0,018	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	6,809	7,194	t= 0,366	dF= 61	0,047	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,217	0,182	t= 0,897	dF= 61	0,114	n. s.

ebenfalls sehr hohe Anzahl an Geschwindigkeitsüberschreitungen auf, die hier sogar mit der größten Dauer kombiniert ist. Die Anzahl der Überschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ ist hier in beiden Runden maximal ($0,33 \frac{1}{km}$ bzw. $0,36 \frac{1}{km}$).

Im Gegensatz zu dem Großteil der anderen untersuchten Indikatoren unterscheiden sich weder die Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$, noch die über $20 \frac{km}{h}$ in der Kontrollgruppe zwischen Runde 1 und Runde 2, gleiches gilt für die Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen (vgl. Abbildung 7.14 und Tabelle 7.14 auf der nächsten Seite).

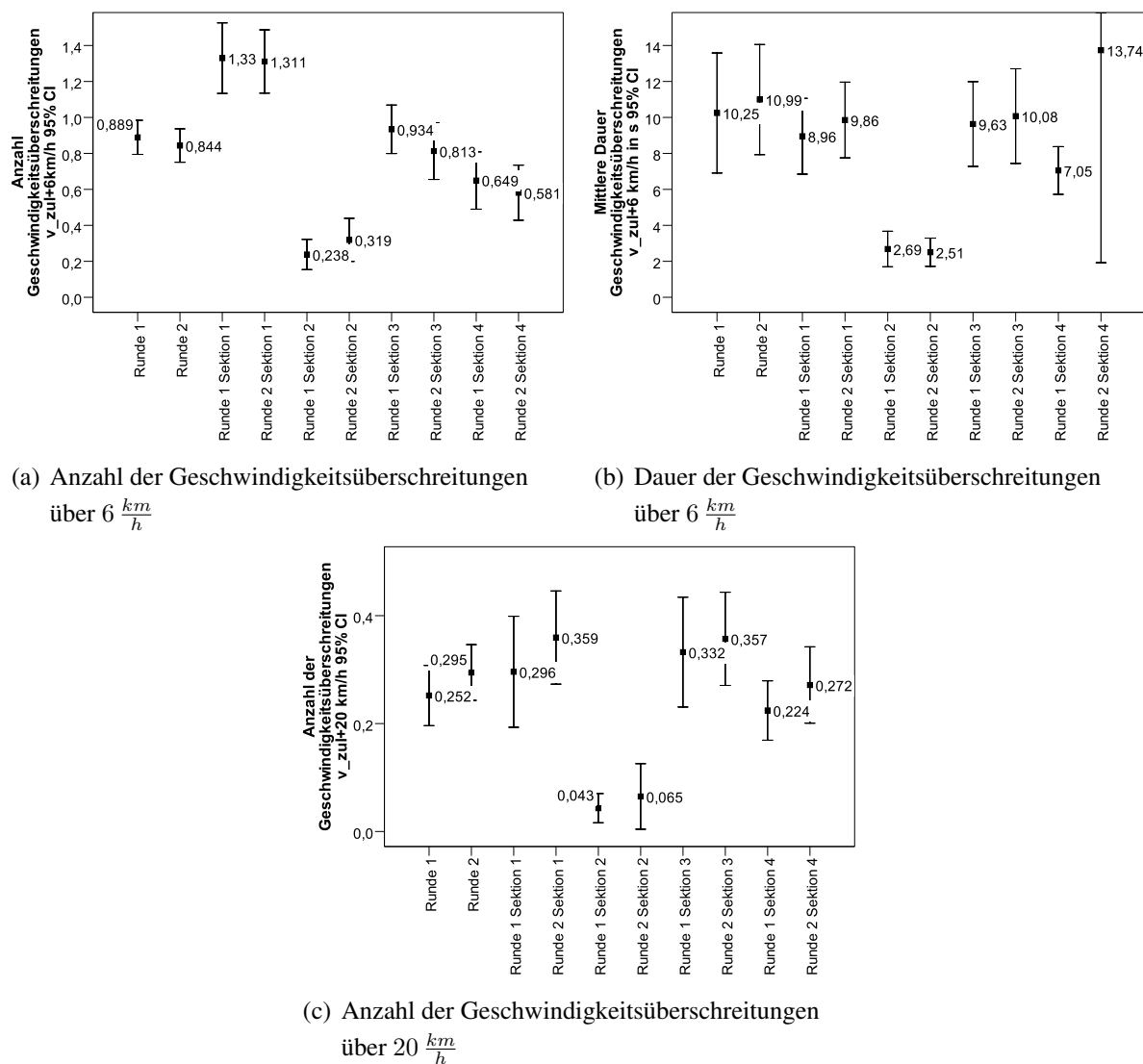


Abbildung 7.14.: Indikatoren der Geschwindigkeitsüberschreitungen der Kontrollgruppe (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).

7. Ergebnisse

Tabelle 7.14.: Test auf Einfluss des Experiments auf das Verhalten der Probanden (Ermüdung, Gewöhnung): Unterschiede zwischen Runde 1 und Runde 2 der Kontrollgruppe (Tests für abhängige Stichproben).

Indikator	Mittelwerte		Testwerte der		Effekt- größe r	Signifikanz α
	Runde 1	Runde 2	Statistik			
Gesamtrunde						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,889	0,844	t= 0,809	dF= 27	0,154	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	10,137	11,008	T= 152,000	Z= -1,161	-0,216	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,252	0,295	t= -1,435	dF= 27	0,266	n. s.
Sektion 1						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	1,330	1,311	t= 0,176	dF= 27	0,034	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	8,957	9,857	t= -0,752	dF= 27	0,143	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,286	0,365	T= 122,500	Z= -1,350	-0,251	n. s.
Sektion 2						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,246	0,324	T= 45,600	Z= -1,728	-0,321	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	2,644	2,511	T= 16,000	Z= -0,127	-0,024	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,042	0,063	T= 180,500	Z= -0,302	-0,056	n. s.
Sektion 3						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,934	0,813	t= 1,289	dF= 27	0,241	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	9,634	10,077	t= -0,382	dF= 27	0,073	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,332	0,361	T= 150,000	Z= -0,339	-0,063	n. s.
Sektion 4						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,649	0,581	t= 0,981	dF= 27	0,186	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	6,809	13,538	T= 148,000	Z= -1,252	-0,233	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,224	0,272	t= -1,429	dF= 27	0,265	n. s.

7.6.3. Geschwindigkeitsüberschreitungen der Untersuchungsgruppe

Auch bei den Probanden der Untersuchungsgruppe wurden im Mittel etwa $0,7 \frac{1}{km}$ bis $0,8 \frac{1}{km}$ Überschreitungen registriert. Die relativen Größenunterschiede sind mit denen der Kontrollgruppe vergleichbar (vgl. Abbildung 7.15 und Tabelle 7.15 auf der nächsten Seite). Unterschiede zwischen Runde 1 und Runde 2 waren in der Regel nicht signifikant, lediglich die mittlere Dauer der Überschreitungen $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in der Gesamtrunde, sowie die Anzahl der Überschreitungen $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ und $v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$ in Sektion 3 waren signifikant unterschiedlich.

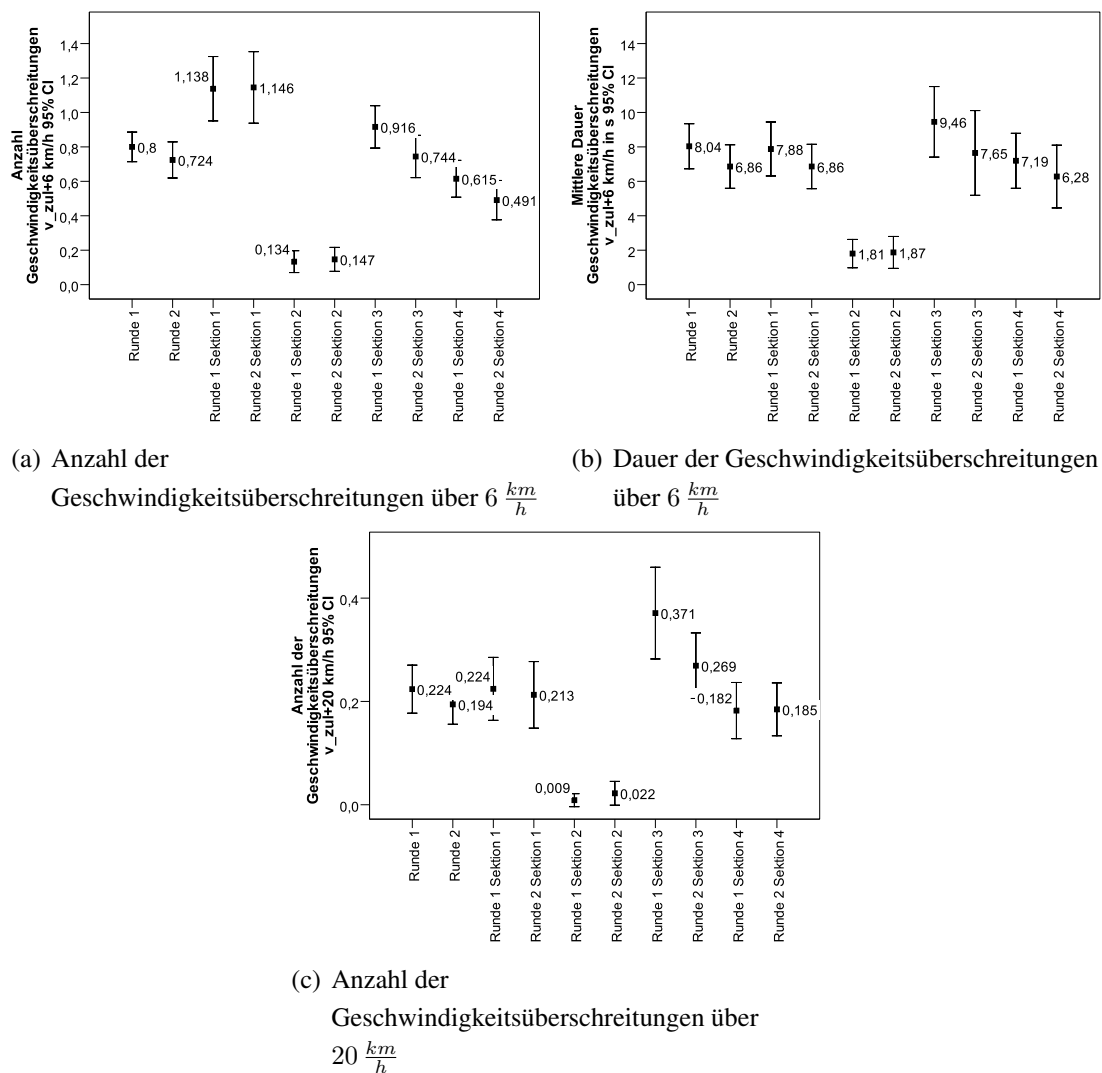


Abbildung 7.15.: Indikatoren der Geschwindigkeitsüberschreitungen der Untersuchungsgruppe (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).

7. Ergebnisse

Tabelle 7.15.: Unterschiede zwischen Runde 1 und Runde 2 der Untersuchungsgruppe (Tests für abhängige Stichproben).

Indikator	Mittelwerte		Testwerte der		Effekt- größe r	Signifikanz α
	Runde 1	Runde 2	Statistik			
Gesamtrunde						
$\frac{Anzahl}{km} v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,800	0,724	t = 1,30	df = 33	0,220	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	8,039	6,861	t = 2,41	df = 33	0,386	$\alpha < 0,05$
$\frac{Anzahl}{km} v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,224	0,194	t = 1,56	df = 33	0,262	n. s.
Sektion 1						
$\frac{Anzahl}{km} v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	1,138	1,146	t = -0,07	df = 33	0,012	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	7,879	6,863	t = 1,50	df = 33	0,253	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,224	0,213	t = 0,34	df = 33	0,059	n. s.
Sektion 2						
$\frac{Anzahl}{km} v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,134	0,147	T = 55	Z = -0,707	-0,121	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	1,806	1,888	T = 110	Z = -0,191	-0,033	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,009	0,022	T = 6	Z = -1,000	-0,171	n. s.
Sektion 3						
$\frac{Anzahl}{km} v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,916	0,744	t = 2,23	df = 33	0,362	$\alpha < 0,05$
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	9,456	7,649	t = 1,36	df = 33	0,230	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,371	0,269	t = 2,43	df = 33	0,389	$\alpha < 0,05$
Sektion 4						
$\frac{Anzahl}{km} v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,615	0,491	t = 1,60	df = 33	0,268	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	7,194	6,280	t = 1,03	df = 33	0,177	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,182	0,185	t = -0,09	df = 33	0,015	n. s.

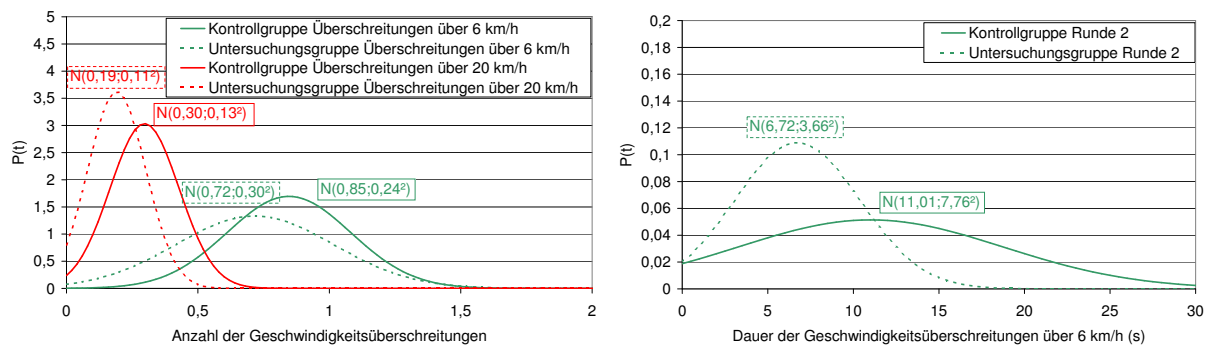
7.6.4. Einfluss des DWS auf die Geschwindigkeitsüberschreitungen

Gesamtrunde und Sektionen 1, 3 und 4

Der Einfluss des DWS auf die Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen ist für Überschreitungen zwischen $6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ und $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ weder in der Gesamtrunde, noch in den Sektionen 1, 3 oder 4 signifikant (Tabelle 7.16 auf Seite 109). Die Anzahl der Überschreitungen von über $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ dagegen reduzieren sich dagegen erheblich (Gesamtrunde: $T(62) = 3,501, r = 0,406, \alpha < 0,001$, Sektion 1: $T(62) = 3,071, r = 0,363, \alpha < 0,01$, Sektion 4: $T(62) = 2,232, r = 0,273, \alpha < 0,05$). Die Abbildung 7.16 stellt die theoretischen Verteilungen der Anzahlen der Geschwindigkeitsüberschreitungen in der Gesamtrunde dar.

Unter dem Einfluss des DWS reduzieren sich die Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen in der Gesamtrunde hochsignifikant von 11,0 s auf 6,7 s ($T(62) = 2,904, \alpha < 0,01, r = 0,346$, vgl. Tabelle 7.16 auf Seite 109 und Abbildung 7.16), ähnliche Effekte traten in Sektion 1 ($t_{V_{ber}^K} = 9,942 \text{ s}, t_{V_{ber}^U} = 6,724 \text{ s}, T(62) = 2,824, r = 0,338, \alpha < 0,01$) und Sektion 4 ($t_{V_{ber}^K} = 13,538 \text{ s}, t_{V_{ber}^U} = 6,152 \text{ s}, U = 344, r = 0,276, \alpha < 0,05$) auf, die Effekte in 3 waren nicht signifikant.

In Anhang H sind die Verteilungen der Dauer und der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen dargestellt. Für die Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen enthalten die Abbildungen H.1 bis H.4 auf den Seiten 269–270 die Veränderungen von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in beiden Runden, die Abbildungen H.5 bis H.12 auf den Seiten 271–274 zeigen



(a) Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ und über $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. (b) Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen.

Abbildung 7.16.: Theoretische Verteilung der Indikatoren der Geschwindigkeitsüberschreitungen in Runde 2. Die Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

die Verteilungen nach den Sektionen. Die Verteilungen der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen sind für die Gesamtrunde in den Abbildungen H.13 bis H.16 auf den Seiten 275–276 (für $V = V_{Zul} + 6 \frac{km}{h}$), bzw. H.25 bis H.28 auf den Seiten 281–282 (für $V = V_{Zul} + 20 \frac{km}{h}$), die Verteilungen nach den Sektionen in den Abbildungen H.17 bis H.24 auf den Seiten 277–280 (für $6 \frac{km}{h}$) bzw. H.29 bis H.36 auf den Seiten 283–286 (für $20 \frac{km}{h}$) dargestellt.

Sektion 2

Wie bereits in den Abbildungen 7.14 und 7.15 auf Seite 105 zu erkennen war, unterscheidet sich Sektion 2 sowohl hinsichtlich der Anzahlen der Geschwindigkeitsüberschreitungen als auch der Dauern erheblich von allen anderen Sektionen und der Gesamtrunde. Die unterschiedliche Streckencharakteristik wird anhand der Indikatoren der Geschwindigkeitsüberschreitungen am besten deutlich, da Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten in Sektion 2 aufgrund kurzer Sichtweiten wegen der Trassierung im Lage- und Höhenplan sehr selten waren.

Die Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ war in der Untersuchungsgruppe um mehr als die Hälfte geringer als in der Kontrollgruppe ($U: 0,324 \frac{1}{km}$, $K: 0,147 \frac{1}{km}$ ($U = 308, r = 0,349, \alpha < 0,01$), die Dauer unterschied sich dagegen nicht signifikant. Bei der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ war ebenfalls kein signifikanter Unterschied zu verzeichnen (vgl. Abbildung 7.17).

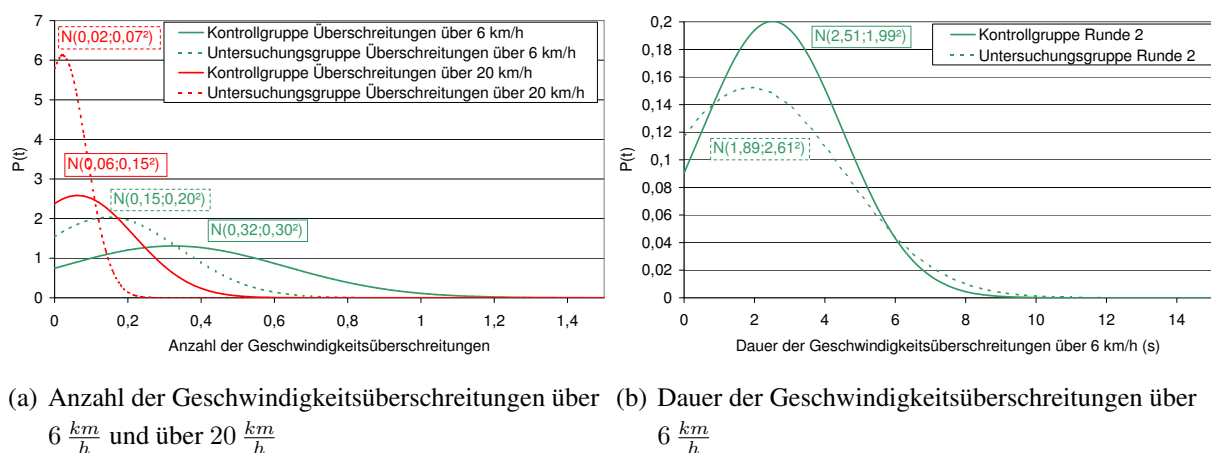


Abbildung 7.17.: Theoretische Verteilung der Indikatoren der Geschwindigkeitsüberschreitungen in Sektion 2 der Runde 2. Die Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

Tabelle 7.16.: Einfluss des DWS auf die Indikatoren der Geschwindigkeitsbeschränkungen (Vergleich zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2, Tests für unabhängige Stichproben).

Indikator	Mittelwerte		Testwerte der		Effekt- größe r	Signifikanz α
	Kontroll- gruppe	Untersuchungs- gruppe	Statistik			
Gesamtrunde						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,846	0,716	t= 1,898	dF= 62	0,234	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	11,008	6,724	t= 2,904	dF= 62	0,346	< 0, 01
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,297	0,191	t= 3,501	dF= 62	0,406	< 0, 001
Sektion 1						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	1,307	1,130	t= 1,324	dF= 62	0,166	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	9,942	6,724	t= 2,824	dF= 62	0,338	< 0, 01
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,365	0,211	t= 3,071	dF= 62	0,363	< 0, 01
Sektion 2						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,324	0,147	U= 308	Z= 2,794	0,349	< 0, 01
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	2,511	1,888	U= 381	Z= 1,747	0,218	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,063	0,022	U= 442	Z= 1,347	0,168	n. s.
Sektion 3						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,833	0,738	t= 0,991	dF= 62	0,125	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	10,167	7,497	t= 1,550	dF= 62	0,193	n. s.
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,361	0,266	t= 1,897	dF= 62	0,234	n. s.
Sektion 4						
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$	0,573	0,486	t= 0,968	dF= 62	0,122	n. s.
Mittlere Dauer $v > v_{zul} + 6 \frac{km}{h}$ in s	13,538	6,152	U= 344	Z= 2,206	0,276	< 0, 05
$\frac{Anzahl}{km} \ v > v_{zul} + 20 \frac{km}{h}$	0,271	0,179	t= 2,232	dF= 62	0,273	< 0, 05

7. Ergebnisse

Tabelle 7.17.: Test auf gleiche Grundgesamtheit der Indikatoren des Peripheren Erkennens (Vergleich zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 1).

Indikator	Mittelwerte		Statistik		Effekt- größe	Signifikanz
	Kontroll- gruppe	Untersuchungs- gruppe			r	α
Gesamtrunde						
Reaktionszeit in ms	453,32	505,07	U = 372,50	Z = 2,16	0,266	n. s.
Trefferquoten	0,967	0,963	t = 0,418	dF = 61	0,053	n. s.
Sektion 1						
Reaktionszeit in ms	458,71	458,76	t = 0,001	dF = 64	0,000	n. s.
Trefferquoten	0,962	0,972	U = 493,00	Z = -	-	n. s.
Sektion 2						
Reaktionszeit in ms	444,64	480,94	U = 357,50	Z = 1,97	0,242	n. s.
Trefferquoten	0,972	0,973	t = 0,075	dF = 61	0,010	n. s.
Sektion 3						
Reaktionszeit in ms	462,64	510,43	U = 391,00	Z = 1,92	0,236	n. s.
Trefferquoten	0,967	0,959	t = 0,908	dF = 61	0,115	n. s.
Sektion 4						
Reaktionszeit in ms	457,67	487,99	U = 424,00	Z = 1,50	0,184	n. s.
Trefferquoten	0,973	0,956	U = 298,00	Z = 2,69	0,331	< 0,01

7.7. Peripheres Erkennen

7.7.1. Voraussetzungstests

Die Stichproben der mittleren Reaktionszeiten und Trefferquoten im Peripheren Erkennen sind überwiegend normalverteilt (vgl. Tabellen I.1 und I.2 auf Seite 287), so dass in der Regel parametrische Tests verwendet werden können.

Der Vergleich der Reaktionszeiten und der Trefferquoten zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in der Runde 1 ergibt, dass sich ausschließlich für die Trefferquoten in Sektion 4 signifikante Unterschiede ergeben ($HR_{R1S4}^K = 0,973$, $HR_{R1S4}^U = 0,956$, $U = 298$, $\alpha < 0,01$, $r = 0,331$). Damit kann davon ausgegangen werden, dass die Stichproben für die Gesamtrunde und die Sektionen 1 bis 3 aus der selben Grundgesamtheit stammen. Demzufolge sind Unterschiede in diesen Sektionen und der Gesamtrunde zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in der Runde 2 ausschließlich auf Einflüsse des DWS zurückzuführen (vgl. Tabelle 7.17).

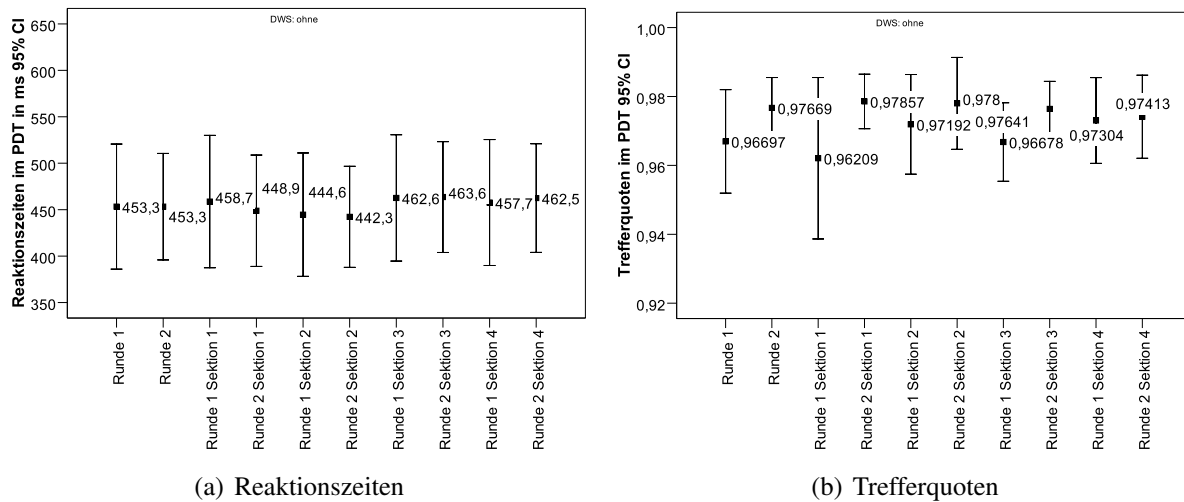


Abbildung 7.18.: Reaktionszeiten und Trefferquoten der Kontrollgruppe im Vergleich.

7.7.2. Peripheres Erkennen der Kontrollgruppe

Die Reaktionszeiten der Kontrollgruppe lagen zwischen 442 ms (Runde 2, Sektion 2) und 464 ms (Runde 2, Sektion 3), während die Trefferquoten von 96,2 % (Runde 1, Sektion 2) bis 97,7 % (Runde 2, Sektion 1) variierten (vgl. Tabelle 7.18 auf der nächsten Seite und Abbildung 7.18).

Weder für die Gesamtrunde, noch für die einzelnen Sektionen ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen der Reaktionszeiten der Runde 1 und der Runde 2. Auffällig ist hier, dass sich für die Gesamtrunde Unterschiede von weniger als einer Millisekunde ergaben, also praktisch nicht vorhanden sind. Auch für die Trefferquoten gilt, dass für die Kontrollgruppe keinerlei Unterschiede zwischen Runde 1 und Runde 2 der Kontrollgruppe identifiziert werden konnte, so dass auch hier nicht von einer Veränderung der Leistungsfähigkeit der Probanden aufgrund der Experimentdauer ausgegangen werden kann (vgl. Tabelle 7.18 auf der nächsten Seite).

Damit können, ähnlich wie bei den Geschwindigkeitsüberschreitungen, keine Einflüsse von Gewöhnung an das Fahrzeug bzw. die Teststrecke oder Ermüdung durch die relativ lange Untersuchungsdauer identifiziert werden.

7.7.3. Peripheres Erkennen der Untersuchungsgruppe

Die Reaktionszeiten im peripheren Erkennen der Untersuchungsgruppe schwankten zwischen 459 ms (Runde 1, Sektion 2) und 541 ms (Runde 2, Sektion 3), die Trefferquoten lagen zwischen 95,1 % (Runde 2, Sektion 4) und 97,3 % (Runde 1, Sektion 1) vgl. Tabelle 7.19 auf Seite 113 und Abbildung 7.19 auf Seite 113).

Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Runden stellten sich ausschließlich für die

Tabelle 7.18.: Test auf Einfluss des Experiments (Ermüdung, Gewöhnung) auf die Indikatoren des Peripheren Erkennens der Probanden: Unterschiede zwischen Runde 1 und Runde 2 der Kontrollgruppe).

Indikator	Mittelwerte		Statistik		Effektgröße	Signifikanz
	Runde 1	Runde 2			r	α
Gesamtrunde						
Reaktionszeit in ms	453,32	453,25	t = 0,004	dF = 29	0,001	n. s.
Trefferquoten	0,967	0,977	t = -1,797	dF = 28	0,322	n. s.
Sektion 1						
Reaktionszeit in ms	458,71	448,86	t = 0,530	dF = 29	0,098	n. s.
Trefferquoten	0,962	0,979	T = 146	Z = -1,546	-0,201	n. s.
Sektion 2						
Reaktionszeit in ms	444,64	442,27	t = 0,139	dF = 29	0,026	n. s.
Trefferquoten	0,972	0,978	T = 109	Z = -1,170	-0,152	n. s.
Sektion 3						
Reaktionszeit in ms	462,64	463,59	t = -0,052	dF = 29	0,010	n. s.
Trefferquoten	0,967	0,976	t = -1,750	dF = 28	0,314	n. s.
Sektion 4						
Reaktionszeit in ms	457,67	462,48	T = 169	Z = -0,774	-0,101	n. s.
Trefferquoten	0,973	0,974	T = 214	Z = -0,075	-0,010	n. s.

Trefferquoten der Sektion 1 ein ($t(32) = 2,143, r = 0,354, \alpha < 0,05$), alle anderen Veränderungen für Trefferquoten und Reaktionszeiten waren nie signifikant.

7.7.4. Einfluss des DWS auf das Periphere Erkennen

Wesentliche Einflüsse des DWS hinsichtlich der Indikatoren des Peripheren Erkennens ergaben sich ausschließlich für die Trefferquoten.

Der Vergleich von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2 zur Identifizierung des Einflusses des DWS auf die Reaktionszeit ergab ausschließlich für die Gesamtrunde einen signifikanten Unterschied. Hier erhöhte sich die mittlere Reaktionszeit von $RT_{R1}^K = 453,25 \text{ ms}$ auf $RT_{R1}^U = 538,85 \text{ ms}$ ($t(64) = -2,182, r = 0,263, \alpha < 0,05$). Für die jeweils einzelne Betrachtung aller Sektionen ergaben sich dagegen keine signifikanten Unterschiede, die auf einen Einfluss des DWS zurückzuführen sein können (vgl. Tabelle 7.20 auf Seite 114).

Der Unterschied zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe für die Trefferquoten ist dagegen mindestens signifikant, in der Regel sogar hochsignifikant. Der geringste Einfluss des

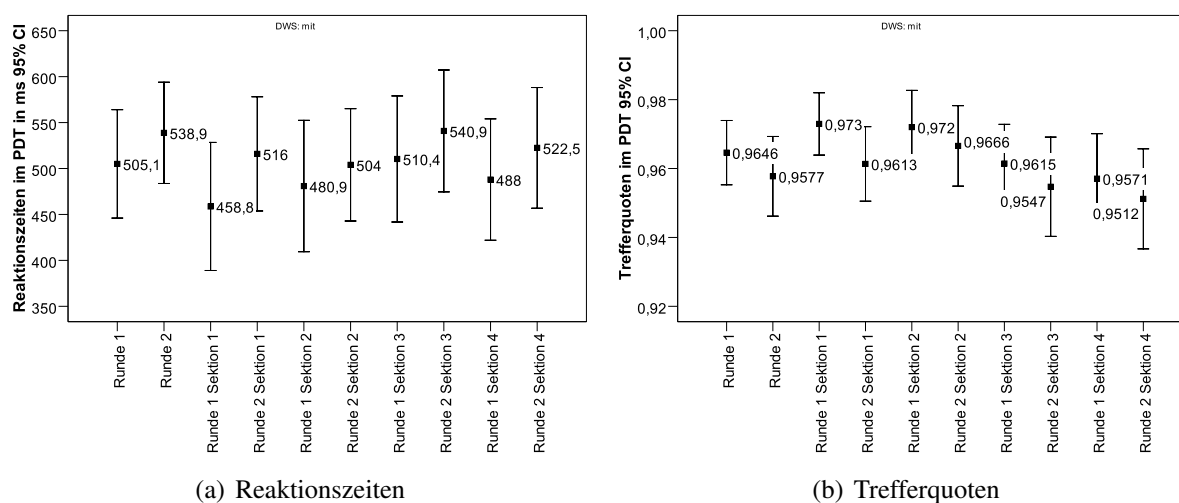


Abbildung 7.19.: Reaktionszeiten und Trefferquoten der Untersuchungsgruppe im Vergleich.

Tabelle 7.19.: Unterschiede der Indikatoren des Peripheren Erkennens zwischen Runde 1 und Runde 2 der Untersuchungsgruppe.

Indikator	Mittelwerte		Statistik		Effektgröße	Signifikanz
	Runde 1	Runde 2			r	α
Gesamtrunde						
Reaktionszeit	505,06	538,85	T = 960,0	Z = -0,329	-0,040	n. s.
Trefferquoten	0,965	0,958	t = 1,666	dF = 32	0,282	n. s.
Sektion 1						
Reaktionszeit	458,76	515,95	t = -1,463	dF = 35	0,240	n. s.
Trefferquoten	0,973	0,961	t = 2,143	dF = 32	0,354	$\alpha < 0,05$
Sektion 2						
Reaktionszeit	480,94	504,02	T = 879,0	Z = -0,883	-0,109	n. s.
Trefferquoten	0,972	0,967	t = 0,946	dF = 32	0,165	n. s.
Sektion 3						
Reaktionszeit	510,43	540,91	T = 995,0	Z = -0,089	-0,011	n. s.
Trefferquoten	0,961	0,955	t = 1,197	dF = 32	0,207	n. s.
Sektion 4						
Reaktionszeit	487,99	522,55	t = -0,883	dF = 35	0,148	n. s.
Trefferquoten	0,957	0,951	t = 0,890	dF = 32	0,156	n. s.

7. Ergebnisse

Tabelle 7.20.: Einfluss des DWS auf die Indikatoren des Peripheren Erkennens (Vergleich zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2).

Indikator	Mittelwerte		Statistik		Effekt- größe	Signifikanz
	Kontroll- gruppe	Untersuchungs- gruppe			r	α
Gesamtrunde						
Reaktionszeit in ms	453,25	538,85	t= -2,182	dF= 64	0,263	< 0, 05
Trefferquoten	0,977	0,955	t= 2,980	dF= 63	0,351	< 0, 01
Sektion 1						
Reaktionszeit in ms	448,86	515,96	t= -1,564	dF= 64	0,192	n. s.
Trefferquoten	0,979	0,958	t= 3,010	dF= 63	0,355	< 0, 01
Sektion 2						
Reaktionszeit in ms	442,27	504,02	t= -1,507	dF= 64	0,185	n. s.
Trefferquoten	0,978	0,964	U = 348,5	Z = 2,337	0,290	< 0, 05
Sektion 3						
Reaktionszeit in ms	463,59	540,91	t= -1,732	dF= 64	0,212	n. s.
Trefferquoten	0,976	0,953	t= 2,871	dF= 63	0,340	< 0, 01
Sektion 4						
Reaktionszeit in ms	462,48	522,55	t= -1,364	dF= 64	0,168	n. s.
Trefferquoten	0,974	0,948	t= 2,773	dF= 63	0,330	< 0, 01

DWS ist in Sektion 2 zu verzeichnen ($HR_{R2S2}^K = 0,978$, $HR_{R2S2}^U = 0,964$, $U = 348,5$, $r = 0,290$, $\alpha < 0,05$). Alle anderen Effekte liegen über 0,3 und sind hochsignifikant (vgl. Tabelle 7.20).

7.8. Lenkwinkelumkehrrate

Die Lenkwinkelumkehrrate (Steering Wheel Reversal Rate, SWRR) gibt wie die Daten des Peripheren Erkennens (Abschnitt 7.7) Aufschluss über eine potenzielle Ablenkung der Probanden durch die visuellen Informationen des DWS.

7.8.1. Voraussetzungstests

Die mittlere Lenkwinkelumkehrrate der Kontroll- und der Untersuchungsgruppe ist in allen Runden und in allen Sektionen normalverteilt (Kolmogorow-Smirnow, $\alpha > 0,05$ in allen Fällen, vgl. Tabelle J.1 auf Seite 301). Damit können parametrische Tests für die Untersuchung dieser Daten

Tabelle 7.21.: Lenkwinkelumkehrrate (Änderungen des Lenkwinkels pro Minute) der Kontrollgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für gepaarte Stichproben).

	Mittlere Lenkwinkelumkehrrate			dF	t(dF)	Effektgröße	Signifikanz
	Runde	Runde	Δ			r	
	1	2					
	$\frac{Rev}{min}$	$\frac{Rev}{min}$	$\frac{Rev}{min}$	-	-	-	-
Gesamtrunde	26,13	23,60	-2,53	27	-2,140	0,381	$\alpha < 0,05$
Sektion 1	29,36	29,41	0,06	27	0,040	0,007	n. s.
Sektion 2	39,59	34,36	-5,24	27	-2,593	0,447	$\alpha < 0,05$
Sektion 3	31,50	28,90	-2,60	27	-1,392	0,259	n. s.
Sektion 4	21,83	19,48	-2,35	27	-1,369	0,255	n. s.

verwendet werden.

7.8.2. Lenkwinkelumkehrrate der Kontrollgruppe

Die Lenkwinkelumkehrrate der Kontrollgruppe liegt zwischen $SWRR_{R1S4}^K = 21,83 \frac{Rev}{min}$ für Runde 1 in Sektion 4 und $SWRR_{R1S2}^K = 39,59 \frac{Rev}{min}$ für Sektion 2 in Runde 1. Der recht hohe Unterschied zwischen diesen beiden Sektionen ist in der erheblich unterschiedlichen Streckencharakteristik begründet. Sektion 4 besteht überwiegend aus Streckenabschnitten relativ großzügig trassierter Bundes- und Landesstraßen, während Sektion 2 eine hohe Kurvigkeit aufweist und durch vergleichsweise bergiges Terrain führt. Die Daten der Lenkwinkelumkehrrate sind insofern plausibel. Auch in Runde 2 sind die Extrema in den gleichen Sektionen zu finden (Sektion 4: $SWRR_{R2S4}^K = 19,48 \frac{Rev}{min}$, Sektion 2: $SWRR_{R2S2}^K = 34,36 \frac{Rev}{min}$). In allen Sektionen und der Gesamtrunde nimmt die mittlere Lenkwinkelumkehrrate ab, signifikante Effekte sind aber nur für die Gesamtrunde und Sektion 2 zu verzeichnen ($T(27) = -2,140, r = 0,381, \alpha < 0,05$ bzw. $T(27) = -2,593, r = 0,447, \alpha < 0,05$, vgl. auch Tabelle 7.21 und Abbildung 7.20 auf der nächsten Seite).

7.8.3. Lenkwinkelumkehrrate der Untersuchungsgruppe

Für die Untersuchungsgruppe ergibt sich hinsichtlich der minimalen bzw. maximalen Lenkwinkelumkehrrate das gleiche Bild wie für die Kontrollgruppe. Auch hier wurde die minimale Rate in Sektion 4 (Runde 1: $SWRR_{R1S4}^U = 21,62 \frac{Rev}{min}$, Runde 2: $SWRR_{R2S4}^U = 21,59 \frac{Rev}{min}$) und die maximale Rate in Sektion 2 erreicht (Runde 1: $SWRR_{R1S2}^U = 33,55 \frac{Rev}{min}$, Runde 2:

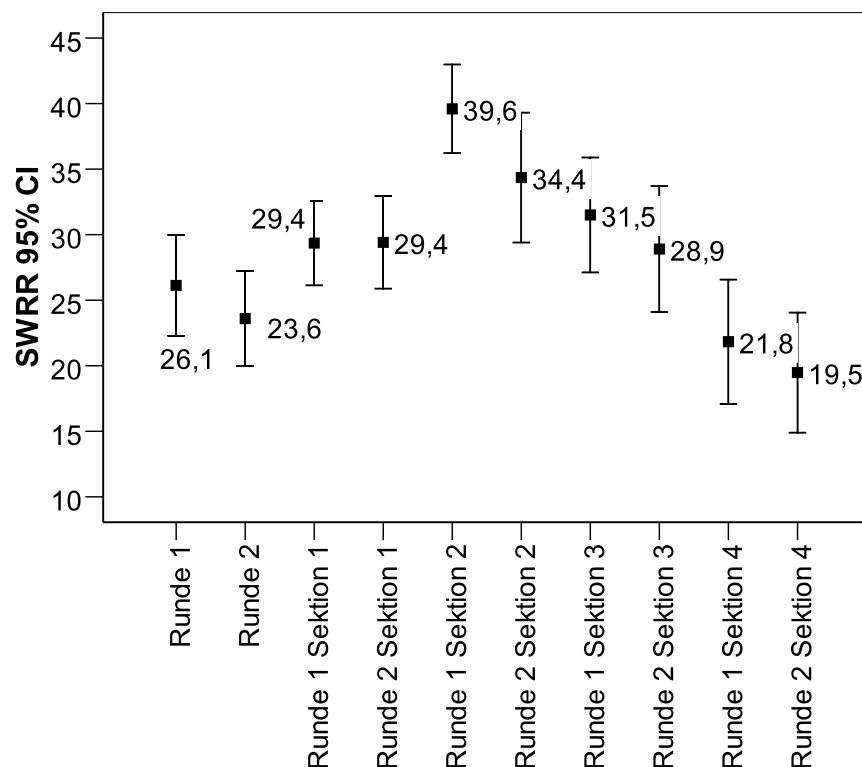


Abbildung 7.20.: Lenkwinkelumkehr rate der Kontrollgruppe in beiden Runden im Vergleich.

$SWRR_{R2S2}^U = 30,74 \frac{Rev}{min}$, vgl. Abbildung 7.21 auf der nächsten Seite). Die Daten der Untersuchungsgruppe zeigen keinerlei signifikante Unterschiede in der Lenkwinkelumkehr rate, sowohl bezogen auf die Gesamtrunde, als auch auf die Sektionen (vgl. Tabelle 7.22 auf der nächsten Seite).

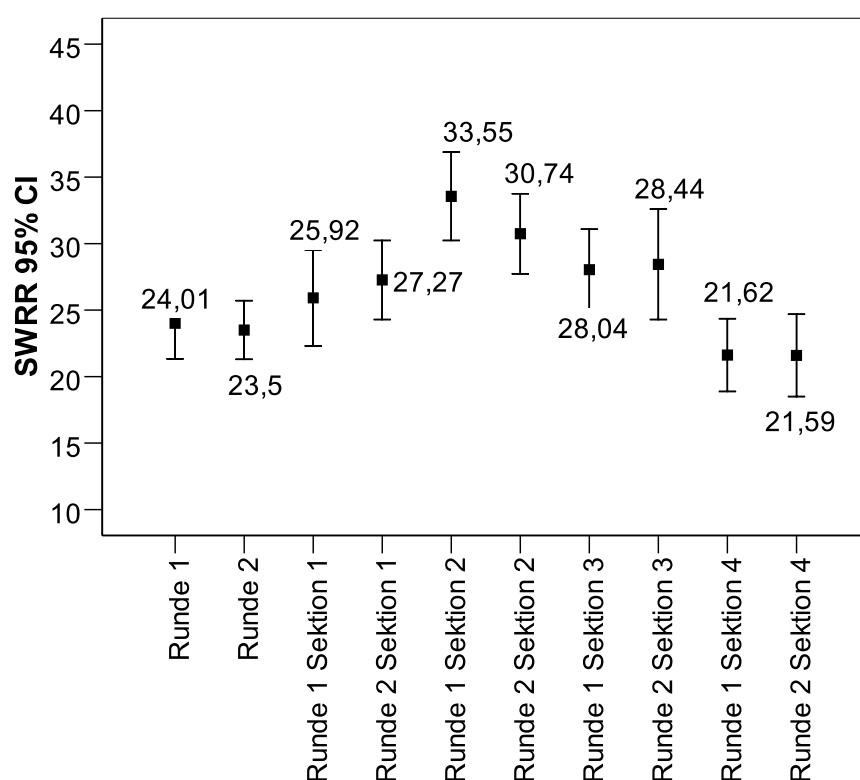
Zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe stellten sich in Runde 1 für die Gesamtrunde und die Sektionen 1, 3 und 4 keine unterschiedlichen Lenkwinkelumkehr rates ein, lediglich Sektion 2 weist einen hochsignifikanten Unterschied auf ($T(61) = -2,682, r = 0,325, \alpha < 0,01$, vgl. Tabelle 7.23 auf Seite 118).

7.8.4. Einfluss des DWS auf die Lenkwinkelumkehr rate

Die Unterschiede in Runde 2 zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe waren weder für die Gesamtrunde noch in den Sektionen signifikant (vgl. Tabelle 7.24 auf Seite 118). Tendenziell nehmen die Rates jedoch bis auf Sektion 4 durchgehend ab, in der Regel allerdings mit minimalen bis kleinen Effekten. Für die Gesamtrunde und die Sektionen 1, 3 und 4, also die Bereiche, in denen sowohl SLW als auch HSW Informationen bzw. Warnungen für den Fahrer geben, kann

Tabelle 7.22.: Lenkwinkelumkehrrate (Änderungen des Lenkwinkels pro Minute) der Untersuchungsgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für gepaarte Stichproben).

	Mittlere Lenkwinkelumkehrrate		dF	t(dF)	Effektgröße	Signifikanz
	Runde 1	Runde 2	Δ		r	
	$\frac{Rev}{min}$	$\frac{Rev}{min}$	$\frac{Rev}{min}$	-	-	-
Gesamtrunde	24,01	23,50	-0,51	33	-0,453	0,078
Sektion 1	25,92	27,27	1,35	33	0,937	0,161
Sektion 2	33,55	30,74	-2,81	33	-1,674	0,280
Sektion 3	28,04	28,44	0,40	33	0,255	0,044
Sektion 4	21,62	21,59	-0,03	33	-0,013	0,002

**Abbildung 7.21.:** Lenkwinkelumkehrrate der Untersuchungsgruppe in beiden Runden im Vergleich.

7. Ergebnisse

Tabelle 7.23.: Lenkwinkelumkehrate in Runde 1 der Kontroll- und Untersuchungsgruppe (T-Test für unabhängige Stichproben).

	Mittlere Lenkwinkelumkehrate			dF	t(dF)	Effektgröße	Signifikanz
	Kontroll-Gruppe	Untersuchungs-Gruppe	Δ			r	
	$\frac{Rev}{min}$	$\frac{Rev}{min}$	$\frac{Rev}{min}$	-	-	-	-
Gesamtrunde	25,96	24,01	-1,95	61	-0,887	0,113	n. s.
Sektion 1	29,41	25,92	-3,48	61	-1,465	0,184	n. s.
Sektion 2	39,74	33,55	-6,18	61	-2,682	0,325	$\alpha < 0,01$
Sektion 3	32,20	28,04	-4,18	61	-1,615	0,202	n. s.
Sektion 4	21,83	21,62	-0,21	60	-0,082	0,011	n. s.

somit keine Veränderung der Leistungsfähigkeit der Fahrer ermittelt werden. Sektion 2, in der die Warnungen der Hot Spot Warning untersucht werden, weist zwar ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe aus, jedoch unterscheidet sich hier die Lenkwinkelumkehrate in der Runde 1 hochsignifikant (vgl. Tabelle 7.23). Die Leistungsfähigkeit der Probanden in Kontroll- und Untersuchungsgruppe unterschied sich also, so dass das nicht signifikante Ergebnis des Vergleichs der Runde 2 nicht eindeutig interpretiert werden kann. Eine tatsächlich vorhandene Veränderung der Leistungsfähigkeit der Probanden, die durch die HSW verursacht wurden, kann anhand der Lenkwinkelumkehrate nicht bestimmt werden.

Tabelle 7.24.: Lenkwinkelumkehrate in Runde 2 der Kontroll- und Untersuchungsgruppe (T-Test für unabhängige Stichproben).

	Mittlere Lenkwinkelumkehrate			dF	t(dF)	Effektgröße	Signifikanz
	Kontroll-Gruppe	Untersuchungs-Gruppe	Δ			r	
	$\frac{Rev}{min}$	$\frac{Rev}{min}$	$\frac{Rev}{min}$	-	-	-	-
Gesamtrunde	23,74	23,71	-0,03	62	-0,016	0,002	n. s.
Sektion 1	29,39	27,42	-1,97	62	-0,907	0,114	n. s.
Sektion 2	34,65	31,08	-3,58	62	-1,333	0,167	n. s.
Sektion 3	29,00	28,45	-0,55	62	-0,185	0,023	n. s.
Sektion 4	19,24	21,69	2,45	62	0,958	0,121	n. s.

7.9. Zusammenfassung der Ergebnisse

Tabelle 7.25 fasst die Ergebnisse der Untersuchungen mit den jeweiligen Hypothesen, den zugehörigen Signifikanzen und Effektgrößen zusammen.

Tabelle 7.25.: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung.

<i>H0₁</i> Die Geschwindigkeitsinformation der SLW hat keinen Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit.			
Indikator: mittlere Geschwindigkeit			
	Signifikanz	Effekt	Hypothese
Gesamtrunde	$\alpha < 0,01$	0,329	FALSCH
Sektion 1	$\alpha < 0,01$	0,336	FALSCH
Sektion 3	n. s.		WAHR
Sektion 4	$\alpha < 0,05$	0,229	FALSCH
<i>H0₂</i> Die optische Geschwindigkeitswarnung der SLW hat keinen Einfluss auf die Dauer der Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.			
Indikator: mittlere Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen zwischen $v = v_{Zul} + 6 \frac{km}{h}$ und $v = v_{Zul} + 20 \frac{km}{h}$ im unbeeinflussten Fahren			
	Signifikanz	Effekt	Hypothese
Gesamtrunde	$\alpha < 0,01$	0,346	FALSCH
Sektion 1	$\alpha < 0,01$	0,338	FALSCH
Sektion 3	n. s.		WAHR
Sektion 4	$\alpha < 0,05$	0,276	FALSCH
<i>H0₃</i> Die optische Geschwindigkeitswarnung der SLW hat keinen Einfluss auf die Anzahl der Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.			
Indikator: Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen zwischen $v = v_{Zul} + 6 \frac{km}{h}$ und $v = v_{Zul} + 20 \frac{km}{h}$ pro km			
	Signifikanz	Effekt	Hypothese
Gesamtrunde	n. s.		WAHR
Sektion 1	n. s.		WAHR
Sektion 3	n. s.		WAHR
Sektion 4	n. s.		WAHR
<i>H0₄</i> Die akustische Geschwindigkeitswarnung der SLW hat keinen Einfluss auf die Anzahl der Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.			
<i>Fortsetzung auf der nächsten Seite</i>			

Tabelle 7.25 — Fortsetzung von der vorigen Seite

Indikator: Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $v = v_{Zul} + 20 \frac{km}{h}$ pro km			
	Signifikanz	Effekt	Hypothese
Gesamtrunde	$\alpha < 0,001$	0,406	FALSCH
Sektion 1	$\alpha < 0,01$	0,363	FALSCH
Sektion 3	n. s.		WAHR
Sektion 4	$\alpha < 0,05$	0,273	FALSCH
$H0_5$	Die Warnungen der HSW haben keinen Einfluss auf die lokale Geschwindigkeit an den Hot Spots. Indikator: mittlere Geschwindigkeit im unbeeinflussten Fahren im Bereich der Hot Spots		
	Signifikanz	Effekt	Hypothese
Sektion 2	n. s.		WAHR
$H0_6$	Die Warnungen der HSW verursachen keine Gefahrbremungen. Indikator: Verlauf des Drucks im Bremssystem unmittelbar nach der Warnung im unbeeinflussten Fahren Sektion 2 keine Gefahrbremungen registriert		
$H0_7$	Die Charakteristik der Strecken hat keinen Einfluss auf das Geschwindigkeitswahlverhalten. Indikator: Indikatoren I1 bis I6 getrennt nach den Sektionen 1 bis 4. Siehe Test der Hypothesen $H0_1$ bis $H0_6$		
$H0_8$	Die Informationen und Warnungen der SLW haben keinen Einfluss auf die kognitive Arbeitsbelastung. Indikator: Trefferquote im PDT im unbeeinflussten Fahren		
	Signifikanz	Effekt	Hypothese
Gesamtrunde	$\alpha < 0,01$	0,351	FALSCH
Sektion 1	$\alpha < 0,01$	0,355	FALSCH
Sektion 3	$\alpha < 0,01$	0,34	FALSCH
Sektion 4	keine Aussage möglich, weil unterschiedliche Grundgesamtheit		
Fortsetzung auf der nächsten Seite			

Tabelle 7.25 — Fortsetzung von der vorigen Seite

Indikator: Reaktionszeit im PDT im unbeeinflussten Fahren			
	Signifikanz	Effekt	Hypothese
Gesamtrunde	$\alpha < 0,05$	0,263	FALSCH
Sektion 1	n. s.		WAHR
Sektion 3	n. s.		WAHR
Sektion 4	n. s.		WAHR
$H0_9$	Die Informationen und Warnungen der HSW haben keinen Einfluss auf die kognitive Arbeitsbelastung.		
Indikator: Trefferquote im PDT im unbeeinflussten Fahren			
	Signifikanz	Effekt	Hypothese
Sektion 2	$\alpha < 0,05$	0,29	FALSCH
Indikator: Reaktionszeit im PDT im unbeeinflussten Fahren			
	Signifikanz	Effekt	Hypothese
Sektion 2	n. s.		WAHR
$H0_{10}$	Die Informationen und Warnungen der SLW verursachen keine zusätzliche visuelle Ablenkung.		
Indikator: Lenkwinkelumkehr rate im unbeeinflussten Fahren			
	Signifikanz	Effekt	Hypothese
Gesamtrunde	n. s.		WAHR
Sektion 1	n. s.		WAHR
Sektion 3	n. s.		WAHR
Sektion 4	n. s.		WAHR
$H0_{11}$	Die Informationen und Warnungen der HSW verursachen keine zusätzliche visuelle Ablenkung.		
Indikator: Lenkwinkelumkehr rate im unbeeinflussten Fahren			
	Signifikanz	Effekt	Hypothese
Sektion 2	n. s.		WAHR
$H0_{12}$	Die Nutzung der SLW verändert die subjektive Bewertung des Systems nicht.		
Indikator: Usefulness/ Satisfaction Werte der SLW			
	Signifikanz	Effekt	Hypothese
	n. s.		WAHR
Fortsetzung auf der nächsten Seite			

Tabelle 7.25 — Fortsetzung von der vorigen Seite

$H0_{13}$	Die Nutzung der HSW verändert die subjektive Bewertung des Systems nicht. Indikator: Usefulness/ Satisfaction Werte der SLW
	Signifikanz Effekt Hypothese
	n. s. WAHR
$H0_{14}$	Die SLW weist eine hohe Gebrauchstauglichkeit auf. Indikator: SUS der SLW
	SUS Wert
	85,4
$H0_{15}$	Die HSW weist eine hohe Gebrauchstauglichkeit auf. Indikator: SUS der HSW
	SUS Wert
	85,9

8. Diskussion

8.1. Überblick

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Ergebnisse werden im Folgenden mit den Ergebnissen ähnlicher Untersuchungen verglichen und vor dem Hintergrund der bekannten Forschung interpretiert. Zunächst werden die Indikatoren für sich analysiert und bewertet und in einem zweiten Schritt die in Abschnitt 4.3 (siehe auch Tabelle 8.1) formulierten Forschungsfragen durch die Interpretation der Ergebnisse der Hypothesentests (vgl. Abschnitt 7.9 auf Seite 119) beantwortet werden. Damit kann eine abschließende Bewertung des Driver Warning System hinsichtlich der Verkehrssicherheit vorgenommen werden.

Tabelle 8.1.: Forschungsfragen zum Driver Warning System.

Gebrauchstauglichkeit
<ul style="list-style-type: none">• Verändert eine einmalige Nutzung der Systeme die subjektive Einschätzung von Nutzern?• Wie ist die Gebrauchstauglichkeit der SLW und der HSW?• Entstehen für den Fahrer zusätzliche kognitive Belastungen durch die zusätzlichen Informationen und Warnungen der SLW und der HSW?
Fahrverhalten
<ul style="list-style-type: none">• Wie verändert sich die Geschwindigkeitswahl aufgrund der SLW?• Hat die SLW einen Einfluss auf die Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit?• Haben die Warnungen der HSW einen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl der Probanden?• Führen die Warnungen des HSW zu einem Erschrecken der Probanden, werden z. B. Gefahrbremungen verursacht?• Sind die Wirkungen der Systeme je nach Streckencharakteristik unterschiedlich?

8.2. Subjektive Bewertungen

Die Ergebnisse der Analysen der subjektiven Daten geben darüber Aufschluss, wie das untersuchte Driver Warning System durch die Probanden bewertet wird. Die nach Van der Laan u. a. (1997) durchgeführte Untersuchung zur Brauchbarkeit und Zufriedenstellung zeigt, wie die Speed Limit Warning und die Hot Spot Warning durch die Probanden angenommen werden. Da der entsprechende Fragebogen sowohl vor, als auch nach der Testfahrt beantwortet wurde, kann gezeigt werden, wie sich die subjektive Einschätzung durch die Nutzung der Systeme ändert. Die Auswertung der Daten des System Usability Scale von Brooke (1996) geben darüber hinaus einen Einblick in die empfundene Gebrauchstauglichkeit des DWS.

8.2.1. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

Die immer im deutlich positiven Bereich liegenden Bewertungen der Konstrukte „Brauchbarkeit“ und „Zufriedenstellung“ zeigen, dass die SLW von den Probanden als besonders „hilfreich“, „nützlich“ und „wünschenswert“ betrachtet wird (Abschnitt 7.2.2 auf Seite 78).

Durch die eigene Erfahrung mit der SLW während der Testfahrt veränderte sich die Einstellung der Probanden gegenüber dem System zwar nicht signifikant, tendenziell jedoch wurde die SLW nach der Testfahrt als weniger brauchbar bewertet als vorher eingeschätzt. Vergleichbare Effekte wurden in der Studie der Monarch University zu Feldversuchen mit einem ähnlichen System gefunden (Regan u. a., 2006), die dort gefundenen Ergebnisse waren hierbei jedoch signifikant. Da in dieser Studie nicht die gleiche Methode zur Bewertung der Brauchbarkeit verwendet wurde, sind die absoluten Werte nicht direkt vergleichbar, die Veränderungsrichtung der Einschätzung jedoch übertragbar. Auch Varhelyi (2002) beschreibt, dass vergleichbare Systeme zunächst, also vor der Benutzung durch die Probanden, eine positive subjektive Einschätzung haben, diese Einstellung verschlechtert sich jedoch nach der Benutzung des Systems geringfügig.

Die subjektive Bewertung des aus den vier Wertepaaren „unangenehm - angenehm“, „nervig - nett“, „ärgerlich - erfreulich“ und „nicht wünschenswert - wünschenswert“ bestehenden Konstrukts „Zufriedenstellung“ veränderte sich zwar nicht signifikant, jedoch ist die hochsignifikant bessere Einschätzung der beiden Wertepaare „unangenehm - angenehm“ und „nervig - nett“ nach der Testfahrt bemerkenswert. Die Probanden der Untersuchungsgruppe empfinden die SLW offensichtlich unabhängig von Geschlecht, Fahrerfahrung oder Erfahrung mit FAS nach der Benutzung als erheblich weniger störend bzw. deutlich angenehmer als vorher vermutet. Die teilweise geäußerten Befürchtungen, ein solches System würde den Nutzer bevormunden oder sonst in der freien Wahl der Geschwindigkeit unangemessen einschränken, wurden nicht bestätigt. Vergleichende Untersuchungen zu unterschiedlichen Systemen, die entweder rein informieren bzw.

die Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit technisch unterbinden, zeigen ebenfalls positive Veränderungen der Einschätzung für rein informierende Systeme, im Gegensatz zu deutlich negativeren subjektiven Bewertungen für regelnde Systeme (vgl. z. B. Päätao u. a., 2001; Regan u. a., 2006).

Die subjektiven Einschätzungen der „Brauchbarkeit“ und „Zufriedenstellung“ der HSW veränderten sich zwar durch die Nutzung gerade nicht signifikant, jedoch ist ein Trend zu einer negativeren Einschätzung in den beiden Dimensionen deutlich erkennbar. Die bei den Probanden geweckten Erwartungen konnten durch die HSW nicht vollständig erfüllt werden. Bemerkenswert ist allerdings für die Einzelfragen zur „Brauchbarkeit“, dass die HSW nach der Nutzung insbesondere von Personen mit hoher Fahrerfahrung und mit Vorerfahrungen mit FAS als „aktivierender“ beurteilt wird, als von Personen mit geringer Fahrerfahrung und Vorerfahrungen mit FAS. Vermutlich sind erfahrene Fahrer besser in der Lage, zusätzliche Informationen zu verarbeiten, bzw. reagieren vermutlich aufgrund von Trainingseffekten positiver auf zusätzliche Unterstützungssysteme.

Die insgesamt größten signifikanten Effekte ergeben sich für das Begriffspaar „unnötig - effizient“. Die HSW wird nach dem Test des Systems deutlich als unnötiger beurteilt, wobei diese Einschätzung von Frauen stärker vertreten wird. Die Gruppe der Frauen mit hoher Fahrerfahrung beurteilt nach der Fahrt nahezu alle Einzelfragen zur Brauchbarkeit signifikant schlechter als zuvor. Insbesondere diese Gruppe der Nutzer scheint sich mehr von der Funktion versprochen zu haben, bewertet das System aber immer noch nicht im negativen Bereich der Skala.

Insgesamt wird beiden Funktionen von den Probanden sehr hohe „Brauchbarkeit“ und „Zufriedenstellung“ attestiert, auch wenn die Bewertungen nach einer einmaligen eigenen Erfahrung mit den Systemen teilweise weniger positiv ausfallen. Es wurden in keinem Fall Bewertungen im negativen Wertebereich der beiden Skalen zur „Brauchbarkeit“ und „Zufriedenstellung“ verzeichnet. Dies ist ein sehr positives Ergebnis, vor allem, weil es sich bei dem untersuchten System um eine prototypische Implementierung handelt.

8.2.2. Gebrauchstauglichkeit

Die beide Applikationen SLW und HSW wurden durch die Probanden hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit sehr positiv bewertet (Abschnitt 7.2.3 auf Seite 87). Die Werte von 85,4 (SLW) und 85,9 (HSW) auf der von 0 bis 100 reichenden Skala des System Usability Scale zeigen, dass beide Systeme mit ihren optischen bzw. akustischen Ausgaben sehr gut geeignet sind, die Nutzer über die aktuellen Geschwindigkeitsbeschränkungen bzw. potenziellen Gefahrstellen zu informieren, bzw. zu warnen und eine hohe Gebrauchstauglichkeit aufweisen. Das heißt, dass beide Applikationen geeignet sind, die mit ihnen verbundenen Ansprüche an Effektivität,

Effizienz und Zufriedenheit zu erfüllen.

Die Bewertungen beider Systeme unterscheiden sich sowohl für den Gesamt-SUS-Wert, als auch bei der Bewertung der Einzelfragen nur sehr gering, was ein Hinweis darauf ist, dass SLW und HSW tatsächlich als eine integrierte Gesamtfunktion wahrgenommen werden.

Dennoch zeigt die Auswertung der Einzelfragen des SUS, dass für beide Systeme die drei Fragen nach der „Einbindung“, den „Unstimmigkeiten“ und der „regelmäßigen Nutzung“ weniger positiv bewertet werden als die verbleibenden sieben. Die Einbindung in das Gesamtkonzept des Fahrzeugs lässt also Raum für Verbesserungen. Dies ist nicht überraschend, weil es sich hier um eine prototypische Entwicklung handelt, die nicht alle Aspekte eines serienreifen Produkts aufweisen kann.

Die durch die Nutzer bemerkten Unstimmigkeiten beziehen sich für die *SLW* darauf, dass die Informationen gelegentlich zu früh oder zu spät angezeigt wurden. Da sowohl *SLW* als auch *HSW* auf einem Navigationssystem basieren, ist die Koordinierung zwischen der Anzeige im Fahrzeug und den entsprechenden Stellen im Straßennetz maßgeblich von der Qualität der Positionsschätzung des Ortungssystems abhängig. Da für die vorliegende Untersuchung eine preiswerte Standardlösung zur Ortung verwendet wurde, kam es gelegentlich zu Ortungsfehlern, die dann zur fehlerhaften Ausgabe von Informationen bzw. Warnungen führte. Eine Verwendung eines hochwertigen Ortungssystems, beispielsweise eines 12-Kanal-Empfängers mit geringeren Anlauf dauern und höherer Ortungspräzision kann diese Probleme weitestgehend beseitigen.

Die von den Nutzern bemängelten Unstimmigkeiten auf Seiten der *HSW* beruhten darauf, dass die meisten der von der *HSW* angezeigten Warnungen direkt mit der Trassierung oder der Lage des aktuellen Streckenabschnitts erklärt werden konnten (Kurven mit kleinen Radien, geringe Sichtweiten oder Waldbereiche), während für einzelne Hot Spot Warnungen eine solch einfache Erklärung nicht möglich war. Insbesondere ein spezifischer Hot Spot lag auf einer langen Geraden, die keine besondere Gefahr erkennen lies. Die Analyse der Unfalldaten hatte aber eine hohe Unfalldichte gezeigt, während die Unfallursachen und die Rahmenbedingungen nicht konsistent waren. Daher wurde dieser Hot Spot unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit immer angezeigt, was von den Probanden dann als Unstimmigkeit bzw. Fehlfunktion interpretiert wurde.

8.3. Arbeitsbelastung und visuelle Ablenkung

Die Analyse der kognitiven Arbeitsbelastung (Abschnitt 7.7 auf Seite 110) und der visuellen Ablenkung (Abschnitt 7.8 auf Seite 114), die durch *SLW* und *HSW* induziert werden, gibt darüber Aufschluss, ob unerwünschte negative Einflüsse entstehen, die die beabsichtigte Verbesserung der Verkehrssicherheit beeinträchtigen können. Eine signifikante Erhöhung der kognitiven Ar-

beitsbelastung oder der visuellen Ablenkung könnte die potenziell positiven Wirkungen überlagern, so dass der tatsächliche Sicherheitsgewinn verringert oder gar ins Negative gekehrt würde.

Die gemessene kognitive Arbeitsbelastung der Probanden der Kontrollgruppe, die anhand der Trefferquote bzw. der Reaktionszeit im PDT (Peripheral Detection Task) ermittelt wurde, änderte sich in keinem Fall zwischen der ersten und der zweiten Runde. Damit kann ausgeschlossen werden, dass sich ein Ermüdungseffekt einstellte. Die Unterschiede zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe in Runde 2 sind also auf Wirkungen des DWS zurückführbar.

Solche Unterschiede ergaben sich für die Gesamtrunde, als auch die einzelnen Sektionen 1 bis 3. Über Sektion 4 kann keine Aussage getroffen werden, weil der Voraussetzungstest zeigte, dass die Stichproben der Runde 1 für Untersuchungs- und Kontrollgruppe nicht aus der gleichen Grundgesamtheit stammten. Die Effektgrößen sind in der Regel mittel, so dass von einer messbaren Mehrbelastung der Probanden sowohl durch die SLW als auch die HSW ausgegangen werden kann. Dies widerspricht z. B. der Untersuchung von Brookhuis und de Waard (1999), die bei einem ähnlichem Experiment zwar eine geringfügig erhöhte Belastung anhand von Methoden der Selbsteinschätzung fanden, jedoch anhand von physiologischen Messungen keine Mehrbelastung feststellen konnten. Allerdings testeten Brookhuis und de Waard (1999) auch nur ein System zur Geschwindigkeitsinformation. Daher kann vermutet werden, dass die in der vorliegenden Untersuchung gefundene Mehrbelastung aus der Kombination zweier Systeme resultiert.

Zwischen den Sektionen selbst konnten keine wesentlichen Unterschiede für die Trefferquoten und Reaktionszeiten der Untersuchungsgruppe festgestellt werden. Das heißt, dass sich die Belastung in Sektion 2, in der fast ausschließlich die HSW wirksam war, nicht von der in den anderen Sektionen unterschied. Daraus kann abgeleitet werden, dass die zusätzlich in den anderen Sektionen auftretenden *Warnungen* der SLW nicht zu einer zusätzlichen Belastung führten, sondern bereits die *Informationen* der SLW und die *Warnungen* der HSW ausreichten, die Probanden zusätzlich abzulenken. Diese Belastung ist kognitiv und nicht visuell, so dass zur Abhilfe auch eine andere Platzierung der Anzeige des DWS nicht helfen würde. Obwohl die Informationen und Warnungen des DWS auf dem Display des fahrzeugeigenen Navigationssystem angezeigt werden, das nicht im direkten Blickfeld des Fahrers liegt, konnte anhand der Lenkwinkelumkehrrate keine zusätzliche visuelle Belastung ermittelt werden. Die Untersuchung der Lenkwinkelumkehrrate, die hier Aufschluss über die visuelle Ablenkung gab, zeigte in keinem Fall eine Zunahme der Werte. Damit konnte keine zusätzliche visuelle Ablenkung durch das DWS ermittelt werden.

Es zeigte sich also, dass das aus der Speed Limit Warning und der Hot Spot Warning bestehende DWS zu einer Erhöhung der kognitiven Arbeitsbelastung der Probanden führte. Dies ist ein unerwünschter Nebeneffekt, der unter Umständen die durch beide Funktionen potenziell erreichte Verbesserung der Verkehrssicherheit vermindert. Eine Quantifizierung dieses Einflusses

hinsichtlich der Verkehrssicherheit ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt aufgrund fehlender Methoden noch nicht möglich.

8.4. Geschwindigkeiten und Geschwindigkeitsüberschreitungen

Die Interpretation der Ergebnisse der Analyse der Geschwindigkeiten und der Geschwindigkeitsüberschreitungen gibt darüber Auskunft, welchen direkten Einfluss die beiden Systeme auf die Verkehrssicherheit haben.

8.4.1. Geschwindigkeiten

Die Geschwindigkeiten der Kontrollgruppe, die ohne das DWS fuhr, änderten sich zwischen den beiden gefahrenen Runden nur sehr gering, so dass nur in den Sektionen 1 und 2 signifikante Werte erreicht wurden. Auffällig ist dabei jedoch, dass sowohl für die Gesamtrunde als auch für die Sektionen eine leichte Zunahme der mittleren Geschwindigkeit verzeichnet werden konnte. Damit kann vermutet werden, dass sich ein Lern- oder Gewöhnungseffekt bei den Probanden einstellt. Sektion 3 bildet hier eine Ausnahme, die Reduktion der Geschwindigkeit ist aber mit $0,23 \frac{km}{h}$ vernachlässigbar gering.

Die Geschwindigkeiten der Untersuchungsgruppe (Fahrt mit DWS) änderten sich zwischen den beiden gefahrenen Runden zwar mit Ausnahme von Sektion 2 nicht signifikant, die Tendenzen waren aber entgegengesetzt zu denen der Kontrollgruppe, d. h. die mittleren Geschwindigkeiten nahmen ab. Dies ist ein erstes Indiz dafür, dass das DWS die Geschwindigkeitswahl der Probanden beeinflusst. Die höchstsignifikante Zunahme der Geschwindigkeit in Sektion 2 zwischen Runde 1 und Runde 2, in dem aufgrund der Streckencharakteristik und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit nur die HSW Warnungen ausgab, deutet bereits darauf hin, dass die HSW alleine keine Geschwindigkeitsreduktion bewirken kann. Im Gegensatz dazu schien sich die mittlere Geschwindigkeit der Probanden eher an die zulässige Höchstgeschwindigkeit anzupassen, die in Sektion 2 bei überwiegend $100 \frac{km}{h}$ liegt. Dies zeigt sich auch durch die verringerte Streuung der mittleren Geschwindigkeit. Ähnliche Effekte wurden in der Untersuchung von Vlassenroot u. a. (2007) gezeigt.

Der Vergleich von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2 ergab mindestens signifikante Unterschiede für die Gesamtrunden, sowie die Sektionen 1 und 4. Der Unterschied der mittleren Geschwindigkeit zwischen den Gruppen für die Gesamtrunde ist mit $3,07 \frac{km}{h}$ mit denen anderer Untersuchungen vergleichbar. Varhelyi und Mäkinen (2001) beschreiben beispielsweise

Veränderungen zwischen $+1,4 \frac{km}{h}$ und $-4,5 \frac{km}{h}$ für Bereiche unbeeinflussten Fahrens außerorts in einem kontrollierten Experiment mit einem Testfahrzeug und mehreren Probanden. Varhelyi u. a. (2005) und Vlassenroot u. a. (2007) dagegen konnten in einem Langzeittest keine Veränderungen der mittleren Geschwindigkeit feststellen, ebenso wenig wie Jamson (2006) in einem kontrollierten Experiment mit 18 Probanden. In den in Schweden in 2001 durchgeführten Feldversuchen wurden für ein informierendes System mittlere Geschwindigkeitsreduktionen zwischen $0,6 \frac{km}{h}$ und $3,4 \frac{km}{h}$ festgestellt (Biding und Lind, 2002). Warner und Åberg (2008) beschreiben in ihrer Untersuchung der Langzeiteffekte einen erneuten Anstieg der mittleren Geschwindigkeiten auf das Ausgangsniveau nach einer anfänglichen signifikanten Reduktion zwischen $0,8 \frac{km}{h}$ und $0,9 \frac{km}{h}$.

Sowohl in Sektion 1 als auch in Sektion 4 ergaben sich mindestens signifikante Geschwindigkeitsreduktionen, wobei der Effekt in Sektion 1 deutlich größer ist, als in Sektion 4. In verschiedenen Publikationen wird beschrieben, dass die Geschwindigkeitsreduktionen umso größer sind, je höher die zulässige Geschwindigkeit ist (z. B. Jamson, 2006; Vlassenroot u. a., 2007; Warner und Åberg, 2008). Ein ähnlicher Zusammenhang konnte in der vorliegenden Untersuchung gezeigt werden. Die Abnahme der mittleren Geschwindigkeit ist in Sektion 4 größer als in Sektion 1, wobei Sektion 4 überwiegend aus großzügig trassierter Bundesstraße mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von $100 \frac{km}{h}$ besteht, während Sektion 1 Streckenabschnitte hoher Kurvigkeit und überwiegend eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von $60 \frac{km}{h}$ aufweist. Die Änderungen der mittleren Geschwindigkeiten in den Sektionen 2 und 3 waren dagegen nicht signifikant. Inwieweit der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsreduktion und zulässiger Höchstgeschwindigkeit oder aber zwischen Geschwindigkeitsreduktion und V_{85} besteht, konnte nicht ermittelt werden. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig, die den Zusammenhang zwischen V_{85} , Unfallkenngrößen und zulässiger Höchstgeschwindigkeit mit berücksichtigen.

In Sektion 2, in der aufgrund der Streckencharakteristik fast ausschließlich Warnungen der HSW auftraten, konnten dagegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den mittleren Geschwindigkeiten der Untersuchungs- und Kontrollgruppe festgestellt werden. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Bastien u. a. (2006), die in ihrer Untersuchung eines Systems, das vor Unfallschwerpunkten warnt, ebenfalls keine signifikanten Veränderungen der mittleren Geschwindigkeit feststellen konnten.

Auch eine weitergehende Untersuchung der lokalen Geschwindigkeiten im Bereich der Hot Spots zeigte keine signifikanten Änderungen. Durch die Analyse der Gas- und Bremspedalreaktionen wurde dagegen deutlich, dass die Probanden auf die Warnungen der HSW reagierten, indem sie eine weitere Beschleunigung unterließen, bzw. den Fuß vom Gaspedal nahmen. Im Zusammenhang damit wurden aber keine Bremsreaktionen registriert, die auf unerwünschte Schreckreaktionen der Probanden hingedeutet hätten. Dieses Verhalten kann als Zeichen einer

erhöhten Aufmerksamkeit gedeutet werden. Diese Interpretation wird auch durch entsprechende Aussagen von Probanden nach der Testfahrt gestützt. Weitere signifikante Effekte konnten nicht bestimmt werden. Um die tatsächliche Wirkung HSW-ähnlicher Systeme zu analysieren, scheinen andere Indikatoren, wie zum Beispiel Indikatoren des Situationsbewusstseins besser geeignet. Als Situationsbewusstsein gilt in diesem Zusammenhang die sukzessive Erkennung einer bestimmten Situation, das Verstehen der Konsequenzen unterschiedlicher Handlungsalternativen und die Auswahl und Ausführung einer Handlung. Methoden, die diesen Komplex untersuchen, sind in der Regel sehr aufwändig und verlangen nach umfangreicheren Detailanalysen, als sie in der vorliegenden Arbeit möglich gewesen wären.

8.4.2. Geschwindigkeitsüberschreitungen

Der Entwurf des DWS zielt auch darauf ab, Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zu vermeiden oder deren Dauer zu verkürzen.

Die Probanden der Kontrollgruppe überschritten die zulässige Höchstgeschwindigkeit verwarungsgeldrelevant um $6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ in Runde 2 mit Ausnahme der Sektion 2 nicht signifikant weniger häufig als die der Untersuchungsgruppe, jedoch änderte sich die mittlere Dauer der Überschreitungen erheblich. Auch die Anzahl der bußgeldrelevanten Überschreitungen von über $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ verringerte sich für die Gesamtrunde höchstsignifikant. Offensichtlich wird die *Information* der zulässigen Höchstgeschwindigkeit durch die SLW im Fahrzeug von den Probanden nicht besser wahrgenommen oder beachtet, als die Beschilderung im Straßenraum. Die *Warnung*, die optisch durch das blinkende Symbol gegeben wird, führt aber zu einer lokalen Verringerung der aktuellen Fahrgeschwindigkeit, so dass sich die Dauer der Überschreitungen durch die Warnungen der SLW verringert. Dies deckt sich mit früheren Untersuchungen, in denen eine signifikante Reduktion der Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen durch informierende bzw. warnende Systeme ermittelt wurde (Regan u. a., 2006; Warner und Åberg, 2008).

Sektion 2 dagegen weist als einzige eine signifikante Veränderung der Anzahl der Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten um $6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf, ohne dass jedoch in dieser Sektion eine signifikante Veränderung der mittleren Geschwindigkeit erkennbar ist. Da die SLW in dieser Sektion nicht wirksam ist, liegt die Vermutung nahe, dass durch die HSW die extremen Geschwindigkeitswerte am rechten Rand der realen Verteilung eliminiert werden, was die Verringerung der Breite der theoretischen Verteilung erklärt.

8.5. Bewertung der Systeme

8.5.1. Hot Spot Warning

Zur Bewertung der HSW wurden die Daten der Sektion zwei verwendet, weil aufgrund der Streckencharakteristik hier fast ausschließlich Warnungen der HSW ausgegeben wurden, während die SLW kaum zum Tragen kam.

Insgesamt konnte keine signifikante geschwindigkeitsdämpfende Wirkung der HSW festgestellt werden, weder bei den mittleren Geschwindigkeiten der Sektion 2, noch anhand der lokalen Geschwindigkeiten im Bereich der Hot Spots. Die sich ergebende Verringerung der Anzahl der Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und die schmalere Verteilung der Geschwindigkeit ist jedoch sowohl positiv im Sinne eines potenziell verringerten Unfallrisikos (Finch u. a., 1994; Salusjärvi, 1981), als auch hinsichtlich der besseren Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Kapazität (Friedrich und Kemper, 2006; Schick, 2003; Zackor u. a., 1972).

Die Analyse der Gaspedal- und Bremspedalreaktionen, sowie die Interviews mit den Probanden nach den Testfahrten legen nahe, dass die HSW zu einer temporären Erhöhung der Aufmerksamkeit des Fahrers für den unmittelbar vor ihm liegenden Streckenabschnitt führt. Inwieweit dies aber zu einer tatsächlichen Veränderung der Verkehrssicherheit für den einzelnen Nutzer führt, konnte nicht abschließend geklärt werden.

Die Analyse der visuellen Ablenkung anhand der Lenkwinkelumkehrzeiten zeigt keinen negativen Effekt, die kognitive Arbeitsbelastung war für die Untersuchung aber erhöht, was sich anhand der Trefferquoten, jedoch nicht in den Reaktionszeiten im PDT zeigt. Eine Verlangsamung der Reaktionen fand also nicht statt. Ob also die Identifizierung von Reizen beeinflusst wurde, konnte nicht eindeutig bestimmt werden. Die Analyse der Gaspedalreaktionen zeigte, dass Probanden auf die Warnungen der HSW positiv reagierten, in dem sie kurzzeitig den Fuß vom Gaspedal nahmen. Hinzu kommt, dass die subjektiven Bewertungen zeigen, dass eine entsprechende Funktion von den Probanden zunächst sehr positiv eingeschätzt wurde, die hier untersuchte Implementierung aber den Erwartungen nicht ganz gerecht werden konnte. Ein Grund dafür kann die Platzierung der Anzeige der Warnungen auf dem Display des MFD-II sein, während der „natürliche“ Ort für eine solche Anzeige im Instrumentenbereich ist, wo auch alle anderen entsprechenden Informationen und Warnungen angezeigt werden. Dies konnte aber aufgrund technischer Randbedingungen für der vorliegende Untersuchung nicht realisiert werden. Auch die Verbesserung der Situationsabhängigkeit durch eine genauere Berücksichtigung der Parameter (z. B. eine bessere Geschwindigkeitsabhängigkeit durch eine verbesserte Berücksichtigung der Fahrdynamik) bzw. die Betrachtung weiterer Parameter (z. B. des Salzgehaltes als weiteren Parameter für die Bestimmung des Risikos) dürfte zu spezifischeren Warnungen führen, die dann

besser akzeptiert werden.

Daraus kann geschlossen werden, dass eine HSW-ähnliche Applikation von Nutzern gewünscht wird und dann vermutlich auch positive Effekte haben wird, in dem die Aufmerksamkeit der Probanden situationsabhängig für die aktuelle Fahrsituation erhöht wird.

8.5.2. Speed Limit Warning

Da die HSW keinen Einfluss auf die Wahl der mittleren Geschwindigkeit der Probanden hat, sich aber insgesamt eine signifikante Reduktion der mittleren Geschwindigkeit ergibt, muss diese Reduktion auf die Informationen und Warnungen der SLW zurückgehen. Damit führt die SLW insgesamt zu einer Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit bezogen auf die Gesamttrunde um $3,01 \frac{km}{h}$. Die Anzahl geringer Geschwindigkeitsüberschreitungen wird zwar nicht verringert, aber sowohl mittlere Dauer, als auch die Anzahl erheblicher, bußgeldrelevanter Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ nehmen mindestens signifikant ab.

Bei der Beurteilung der Effekte des hier untersuchten Systems muss beachtet werden, dass es sich um eine prototypische Implementierung eines informierenden und warnenden Systems handelt, das nicht aktiv in die Regelung des Fahrzeugs eingreift. In früheren Untersuchungen wurde gezeigt, dass solche Systeme zwar den geringsten Effekt auf das Geschwindigkeitswahlverhalten haben, sie jedoch die höchste Akzeptanz genießen und damit eine Einführung solcher informierenden Systeme an ehesten Erfolg verspricht (Adell und Varhelyi, 2008; Adell u. a., 2008; Comte, 2001; Hjalmdahl und Varhelyi, 2004a; Päätaalo u. a., 2001; Varhelyi u. a., 2005; Varhelyi und Mäkinen, 2001).

Zur Interpretation der Geschwindigkeitsänderungen in Bezug auf Aspekte der Verkehrssicherheit ist der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Unfallzahlen bzw. Unfallfolgen wichtig. Die Relation zwischen Geschwindigkeit und Unfallfolgen ist offensichtlich und hängt direkt mit der kinetischen Energie E des Objekts zusammen, die sich linear mit der Masse m und quadratisch mit der Geschwindigkeit v verändert: $E = \frac{1}{2}mv^2$. Dagegen ist der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Unfallrisiko bzw. Unfallzahlen weniger offensichtlich, jedoch umfassend beschrieben und belegt (vgl. z. B. Aarts und van Schagen, 2006; Carsten und Tate, 2005; Elvik, 2005; Elvik u. a., 2004; Finch u. a., 1994; Ledolter und Chan, 1996; MoyanoDiaz, 1997; Nilsson, 1990, 2000, 2004; Ossiander und Cummings, 2002; Richter u. a., 2004, 2006; Rock, 1995; Varhelyi u. a., 2004; af Wahlberg, 2006, 2007). Der Zusammenhang gilt sowohl für die mittlere Geschwindigkeit eines Streckenabschnitts, als auch die mittlere Geschwindigkeit eines einzelnen Fahrzeugs. Aarts und van Schagen (2006) geben hier einen guten Überblick und kommen zu dem Schluss, dass die von Nilsson (2004) gefundenen Beziehungen den Zusammenhang zwischen der Veränderung der mittleren Geschwindigkeit eines Streckenabschnitts und der

Anzahl der polizeilich registrierten Unfälle am besten beschreibt. Nach Nilsson (2004) gilt:

$$A_2 = A_1 \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \quad (8.1)$$

$$I_2 = I_1 \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^3 \quad (8.2)$$

$$F_2 = F_1 \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^4 \quad (8.3)$$

mit

A_1 = Anzahl der polizeilich registrierten Unfälle vor der Geschwindigkeitsänderung.

A_2 = Anzahl der polizeilich registrierten Unfälle nach der Geschwindigkeitsänderung.

I_1 = Anzahl der polizeilich registrierten Unfälle mit Personenschaden vor der Geschwindigkeitsänderung.

I_2 = Anzahl der polizeilich registrierten Unfälle mit Personenschaden nach der Geschwindigkeitsänderung.

F_1 = Anzahl der polizeilich registrierten Unfälle mit Getöteten vor der Geschwindigkeitsänderung.

F_2 = Anzahl der polizeilich registrierten Unfälle mit Getöteten nach der Geschwindigkeitsänderung.

v_1 = mittlere Geschwindigkeit vorher

v_2 = mittlere Geschwindigkeit nachher

Abbildung 8.1 auf der nächsten Seite zeigt den Zusammenhang graphisch. Tabelle 8.2 auf der nächsten Seite zeigt, wie sich die Unfallzahlen verändern, wenn sich die Fahrgeschwindigkeiten so ändern, wie hier gezeigt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Formel von Nilsson für mittlere Geschwindigkeiten des Fahrzeugkollektivs auf einem Streckenabschnitt gilt. Das bedeutet, dass sich die mittlere Geschwindigkeit im Netz bzw. auf Strecken des entsprechenden Typs entsprechend verändern muss. Die Aussagen gelten dabei bei gleichbleibenden Verkehrsstärken. Wie groß der dazu notwendige Durchdringungsgrad entsprechender Systeme sein muss, ist bislang nicht geklärt, aber Gegenstand von Untersuchungen, die vorwiegend mit Simulatoren durchgeführt werden (z. B. Hoogendoorn und Minderhoud, 2001; Liu und Tate, 2004; Ma und Andreasson, 2005). Bei der Beurteilung dieser Zahlen ist auch zu beachten, dass eine Abwägung zwischen positiven Aspekten der Verkehrssicherheit und gegebenenfalls negativen Aspekten notwendig ist. Negative Aspekte können sich aus einer verringerten mittleren Reisegeschwindigkeit im Netz ergeben, die unter Umständen eine längere Aufenthaltszeit und damit eine größere Risikoexposition bedeuten, bzw. einen Einfluss auf die Ausnutzung der zur Verfügung stehenden

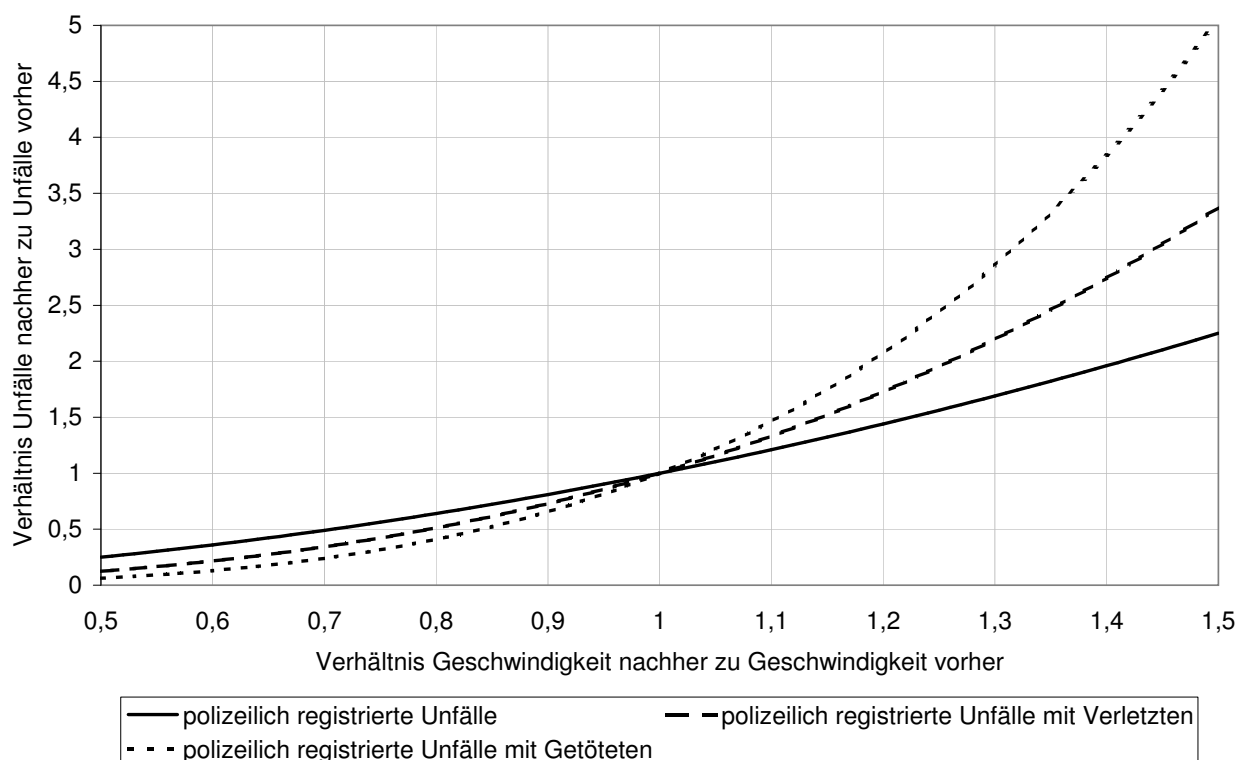


Abbildung 8.1.: Zusammenhang zwischen Unfallzahlen und Geschwindigkeitsänderungen nach Nilsson (2004).

Tabelle 8.2.: Potenzielle Verringerung der Unfallzahlen durch das DWS anhand der von Nilsson (2004) aufgestellten Beziehungen zwischen Geschwindigkeit und Unfallzahlen (Berechnungen nach Gleichungen 8.1 bis 8.3 auf der vorherigen Seite). Als Annahme gilt, dass sich die mittlere Geschwindigkeit auf Straßen des Typs der Untersuchungsstrecke im Mittel wie angegeben verändert.

	Mittlere Geschwindigkeit		Reduktion von Unfällen		
	Kontrollgruppe	Untersuchungsgruppe	mit Verletzten	mit Getöteten	alle
	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	%	%	%
Gesamtrunde	66,08	63,01	13	17	9
Sektion 1	62,45	57,31	23	29	16
Sektion 2 ¹	60,23	58,30	9	12	6
Sektion 3 ¹	70,62	67,51	13	16	9
Sektion 4	75,49	71,49	15	20	10

¹ Veränderungen der Geschwindigkeit nicht signifikant.

Tabelle 8.3.: Veränderung des Risikos für einen Unfall mit Personenschaden durch das DWS für ein einzelnes Fahrzeug anhand der von Kloeden u. a. (2001) gefundenen Beziehung zwischen mittlerer Geschwindigkeit auf einem Straßenabschnitt und der Geschwindigkeit eines einzelnen Fahrzeugs.

	Mittlere Geschwindigkeit		Reduktion des relativen
	auf dem Streckenabschnitt	eines einzelnen Fahrzeugs	Unfallrisikos eines
	Kontrollgruppe	Untersuchungsgruppe	einzelnen Fahrzeugs
	$\frac{km}{h}$	$\frac{km}{h}$	%
Gesamtrunde	66,08	63,01	9
Sektion 1	62,45	57,31	29
Sektion 2 ¹	60,23	58,30	12
Sektion 3 ¹	70,62	67,51	19
Sektion 4	75,49	71,49	13

¹ Veränderungen der Geschwindigkeit nicht signifikant.

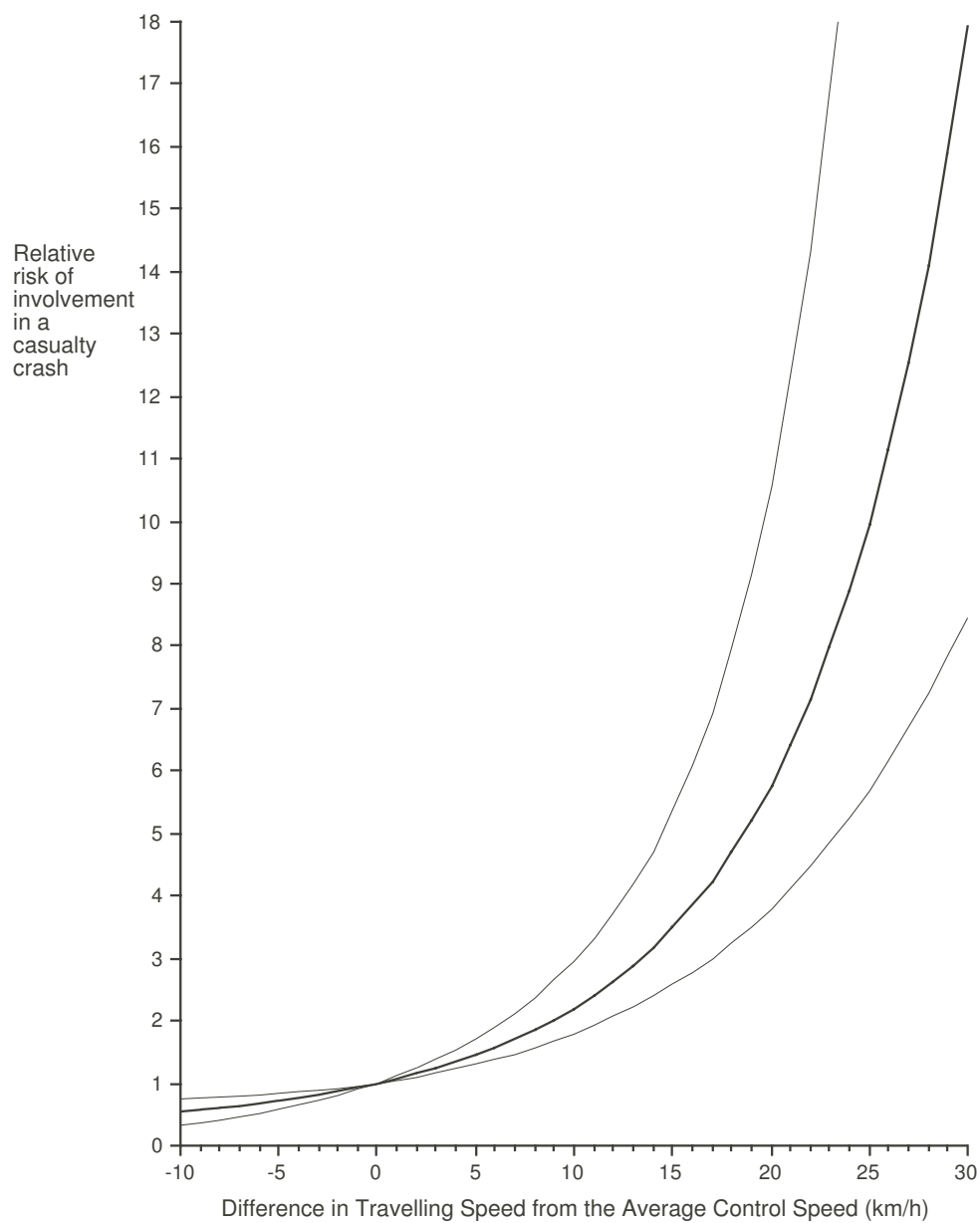
Kapazität von Straßen und Verkehrsnetzen haben. Ältere Publikationen beschreiben eine Zunahme der Reisezeiten zwischen 2,5 % (Carsten und Fowkes, 2000) und 6,6 % (Varhelyi und Mäkinen, 1998), während in jüngeren Untersuchungen keine Veränderungen der Reisezeiten festgestellt werden konnten (z. B. Päätaalo u. a., 2001; Regan u. a., 2006; Varhelyi u. a., 2004). Hier besteht noch erheblicher Bedarf an Untersuchungen, die vor allem die netzweiten Wirkungen von Fahrerassistenz- und -informationssystemen analysieren.

Der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und dem Risiko eines einzelnen Fahrzeugs für einen Unfall mit Personenschaden wird nach Aarts und van Schagen (2006) am besten von der von Kloeden u. a. (2001) beschriebenen exponentiellen Formel beschrieben:

$$I_r = e^{0,07039\Delta v + 0,0008617\Delta v^2} \quad (8.4)$$

Dabei ist Δv die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen dem individuellen Fahrzeug und der mittleren Geschwindigkeit des Streckenabschnitts. Diese Beziehung ist laut Kloeden u. a. (2001) für Geschwindigkeitsdifferenzen von $-10 \frac{km}{h}$ bis $+30 \frac{km}{h}$ für ländliche Straßen mit einer mittleren Geschwindigkeit um die $60 \frac{km}{h}$ gültig und beschreibt das relative Risiko eines einzelnen Fahrzeug, in einen Unfall verwickelt zu werden. Abbildung 8.2 auf der nächsten Seite zeigt den Zusammenhang graphisch, Tabelle 8.3 zeigt die potenzielle Verringerung der Unfallzahlen für das hier untersuchte DWS aufgrund der Geschwindigkeitsänderungen.

Mit diesen beiden Berechnungsmethoden ergeben sich, dass für das einzelne Fahrzeug bei einem niedrigen Durchdringungsgrad, der zu keinem netzweiten Effekt führt, eine Reduktion des Unfallrisikos um 12 % bis 29 % (nach Kloeden u. a., 2001) (je nach Streckencharakteristik)



Note: 95 per cent confidence intervals are shown by the thin lines

Abbildung 8.2.: Der von Kloeden u. a. (2001) gefundene Zusammenhang zwischen relativer Geschwindigkeit und Risiko für einen Unfall mit Personenschaden für ein individuelles Fahrzeug. Beispielsweise ist das Unfallrisiko etwa 2,2 mal höher, wenn die individuelle Fahrge-
schwindigkeit $10 \frac{km}{h}$ über der mittleren Geschwindigkeit liegt.

erreicht werden kann, während die Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit des gesamten Fahrzeugkollektivs zu einer Abnahme der Unfallzahlen (nach Kloeden u. a., 2001) um 9 % (für alle polizeilich registrierten Unfälle) bis 29, % (für polizeilich registrierte Unfälle mit Getöteten) führt.

8.6. Fazit

Beide hier untersuchten Systeme haben eine für eine prototypische Entwicklung (mit den entsprechenden Defiziten hinsichtlich ihrer Integration ins Testfahrzeug) außergewöhnlich hohe Nutzerakzeptanz, hohe Gebrauchstauglichkeit und erreichen eine hohe Zufriedenstellung. Dies zeigt, dass vergleichbare Systeme gut durch potenzielle Nutzer aufgenommen werden. Ein positiver Einfluss auf die Verkehrssicherheit, insbesondere durch eine Verringerung der mittleren individuellen Reisegeschwindigkeit konnte vor allem für die Speed Limit Warning nachgewiesen werden, der aus einer potenziellen Reduktion des Unfallrisikos um 12 % bis 29 % für das einzelne Fahrzeug, bzw. eine potenzielle Abnahme der polizeilich registrierten Unfälle um 9 % bis 16 % bzw. von 12 % bis 29 % für polizeilich registrierte Unfälle mit Getöteten resultiert. Diese Erkenntnisse sind relevant, weil Systeme ähnlich der Speed Limit Warning in den vergangenen Jahren vermehrt auf dem Markt erhältlich sind, beispielsweise als Erweiterungen von integrierten oder Zubehörnavigationssystemen. Da diese Systeme eine teilweise erhebliche Marktdurchdringung erreichen, könnten sich entsprechende netzweite Effekte ausbilden. Dabei spielt es eine entscheidende Rollen, wie hoch Akzeptanz und Befolungsraten solcher Systeme sind. Dies wird wiederum wesentlich von der Korrektheit und Aktualität der Anzeigen bestimmt, die direkt mit der Qualität der Positionsschätzung und der zugrunde liegenden digitalen Karten zusammenhängen. Die verfügbare Schätzungsgenauigkeit aktueller GPS Empfänger dürfte ausreichend sein, auch ohne dass eine Fusion mit fahrzeugseitigen Sensoren (z. B. Geschwindigkeit von Radsensoren) gegeben ist. Die Verfügbarkeit von Geschwindigkeitsinformationen in digitalen Karten für Strecken des untergeordneten Straßennetzes nimmt immer weiter zu, so dass davon ausgegangen werden kann, dass auch die Qualität der Karten immer weiter zunehmen wird. Anstrengungen, die auf eine automatische Aktualisierung der Karten bei den Herstellern (Durekovic und Löwenau, 2007; Thomas u. a., 2008), bzw. eine automatische Aktualisierung der Karten im Fahrzeug abzielen (Flament, 2005), lassen eine erhebliche Verbesserung der Qualität kartengestützter Systeme für die nächste Zukunft erwarten.

Der Nutzen der Hot Spot Warning ist nicht direkt in verringerte Unfallzahlen oder ein verringertes Unfallrisiko umzurechnen. Trotzdem kann davon ausgegangen werden, dass auch die HSW zu einer Verbesserung der Verkehrssicherheit beiträgt, da nachgewiesen werden konnte,

8. Diskussion

dass bei den Probanden eine erhöhte Aufmerksamkeit induziert wird.

Literaturverzeichnis

- [Aarts und van Schagen 2006] AARTS, L. ; SCHAGEN, I. van: Driving speed and the risk of road crashes: a review. In: *Accid Anal Prev* 38 (2006), Nr. 2, S. 215–24
- [Adell und Varhelyi 2008] ADELL, E. ; VARHELYI, A.: Driver comprehension and acceptance of the active accelerator pedal after long-term use. In: *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 11 (2008), Nr. 1, S. 37–51
- [Adell u. a. 2008] ADELL, E. ; VARHELYI, A. ; ALONSO, M. ; PLAZA, J.: Developing human-machine interaction components for a driver assistance system for safe speed and safe distance. In: *Iet Intelligent Transport Systems* 2 (2008), Nr. 1, S. 1–14
- [Amiama u. a. 2008] AMIAMA, C. ; BUENO, J. ; ALVAREZ, C. J. ; PEREIRA, J. M.: Design and field test of an automatic data acquisition system in a self-propelled forage harvester. In: *Computers and Electronics in Agriculture* 61 (2008), Nr. 2, S. 192–200
- [Angenvoort u. a. 2004] ANGENVOORT, J. ; BEUK, L. ; RABEL, D. ; MEZGER, K. ; VARCHMIN, A. ; OTTO, H.-U.: Interface and Data Entity Specifications (Draft) Part 1 - General Specifications, D 12.42.1 of MAPS & ADAS Project / MAPS & ADAS Consortium. 2004. Subproject Deliverable
- [Backhaus 2004] BACKHAUS, C.: *Entwicklung einer Methodik zur Analyse und Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Medizintechnik*, Technische Universität Berlin, Dissertation, 2004
- [BASt 2006] BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN: *GIDAS - German In-Depth Accident Study*. 2006
- [Bastien u. a. 2006] BASTIEN, J. M. C. ; GALLENE, M.-L. ; BEAL, M. ; GERONIMI, S. ; CHOU, H. ; CABON, P.: An ergonomics evaluation of the safety impact of an new on-board system: SAFEMAP. In: *13th World Congress on INtelligent Transport Systems and Services*. London, United Kingdom : ERTICO, 2006

- [Beuk u. a. 2004] BEUK, L. ; RABEL, D. ; ANGENVOORT, J. ; MEZGER, K. ; PERCHINA, M.: Interface and Data Entity Specifications (Draft) Part 2 - Data Protocol, D 12.42.1 Part 2 / MAPS & ADAS Consortium. 30.11.2004 2004. Subproject Deliverable
- [Biding und Lind 2002] BIDDING, T. ; LIND, G.: Intelligent Speed Adaptation (ISA), Results of large-scale trials in Borlänge, Lidköping, Lund and Umeå during the period 1999-2002 / Vägverket (The Swedish National Road Administration). 2002 (200:89).
- [Biermann 2007] BIERMANN, A.: *Gefahrenwahrnehmung und Expertise – Möglichkeiten der Erfassung und Eignung als Prädiktor des Verunfallungsrisikos junger Fahranfänger*, Universität Erfurt, Dissertation, 2007
- [BKatV 2007] BKATV: *Verordnung über die Erteilung einer Verwarnung, Regelsätze für Geldbußen und die Anordnung eines Fahrverbots wegen Ordnungswidrigkeiten im Straßenverkehr (Bußgeldkatalog-Verordnung - BKatV)*. 19.07.2007 2007
- [Brockhaus 1996] BROCKHAUS: *Die Enzyklopädie*. Bd. 5, S. 70. 20. Auflage. Leipzig, Mannheim : F. A. Brockhaus, 1996
- [Brooke 1996] BROOKE, J.: SUS - A quick and dirty usability scale. In: JORDAN, P. W. (Hrsg.): *Usability evaluation in industry: based on the International Seminar Usability Evaluation in Industry that was held at Eindhoven, The Netherlands, on 14 and 15 September 1994*. London : Taylor and Francis, 1996, S. 252
- [Brookhuis und de Waard 1999] BROOKHUIS, K. ; WAARD, D. de: Limiting speed, towards an intelligent speed adapter (ISA). In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 2 (1999), Nr. 2, S. 81–90
- [Carsten und Fowkes 2000] CARSTEN, O. M. J. ; FOWKES, M.: External Vehicle Speed Control. Executive Summary of Project Results / Institute for Transport Studies. 2000
- [Carsten und Fowkes 2003] CARSTEN, O. M. J. ; FOWKES, M.: isa-UK – Intelligent Speed Adaptation. Project Summary / Institut for Transport Studies, University of Leeds MIRA Ltd. 2003
- [Carsten u. a. 2008] CARSTEN, O. M. J. ; HEINIG, K. ; KIRCHER, K. ; BÄRGMAN, J. ; DOZZA, M.: FESTA Handbook. Methodology for Field Operational Tests / FESTA Consortium. 2008
- [Carsten und Tate 2005] CARSTEN, O. M. J. ; TATE, E.: Intelligent speed adaptation: accident savings and cost-benefit analysis. In: *Accident Analysis and Prevention* 37 (2005), Nr. 3, S. 407–416

- [Chan und Courtney 1998] CHAN, H. S. ; COURTNEY, A. J.: Stimulus size scaling and foveal load as determinants of peripheral target detection. In: *Ergonomics* 41 (1998), Nr. 10, S. 1433–1452
- [Cherri u. a. 2005] CHERRI, C. ; NODARI, E. ; TOFFETTI, A.: Review of existing Tools and Methods, Deliverable 2.1.1 of the Integrated Project AIDE / AIDE Consortium. 2005
- [Cohen 1988] COHEN, J.: *Statistical Power Analysis for the behavhioral sciences*. 2nd Edition. New York : Academic Press, 1988
- [Comte 2001] COMTE, S.: *Intelligent Speed Adaptation: Evaluating the possible effects of an innovative speed management system on driver bahviour and road safety.*, University of Leeds, UK, Doctoral Thesis, 2001
- [Creaser u. a. 2007] CREASER, J. I. ; RAKAUSKAS, M. E. ; WARD, N. J. ; LABERGE, J. C. ; DONATH, M.: Concept evaluation of intersection decision support (IDS) system interfaces to support drivers' gap acceptance decisions at rural stop-controlled intersections. In: *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 10 (2007), Nr. 3, S. 208–228
- [Cronbach 1951] CRONBACH, L. J.: Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. In: *Psychometrika* 16 (1951), Nr. 3, S. 297–334
- [Department of Technology and Society LTH Lund University 2005] DEPARTMENT OF TECHNOLOGY AND SOCIETY LTH LUND UNIVERSITY: *ISA - Intelligent Speed Adaptation*. 2005-10-20 2005
- [DIN EN ISO 17287 2003] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. NORMENAUSSCHUSS KRAFTFAHRZEUGE: *Straßenfahrzeuge, Ergnomische Aspekte von Fahrerinformations- und assistenzsystemen. Verfahren zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit beim Führen eines Kraftfahrzeugs*. 2003
- [DIN EN ISO 9241-11 1999] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. NORMENAUSSCHUSS ERGONOMIE: *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit; Leitsätze (ISO 9241-11:1998); Deutsche Fassung EN ISO 9241-11:1998*. 1999
- [Dingus u. a. 2006] DINGUS, T. A. ; KLAUER, S. G. ; NEALE, V. L. ; PETERSEN, A. ; LEE, S. E. ; SUDWEEKS, J. ; PEREZ, M. A. ; HANKEY, J. ; RAMSEY, D. ; GUPTA, S. ; BUCHER, C. ; DOERZAPH, Z. R. ; JERMELAND, J. ; KNIPLING, R. R.: The 100-Car Naturalistic Driving Study, Phase II – Results of the 100-Car Field Experiment / Virginia Tech Transportation

- Institute 3500 Transportation Research Plaza (0536) Blacksburg, Virginia 24061. 2006 (DOT HS 810 593).
- [Donmez u. a. 2008] DONMEZ, B. ; BOYLE, L. N. ; LEE, J. D.: Mitigating driver distraction with retrospective and concurrent feedback. In: *Accident Analysis and Prevention* 40 (2008), Nr. 2, S. 776–786
- [Draskoczy u. a. 1998] DRASKOCZY, M. ; CARSTEN, O. M. J. ; KULMALA, R.: Road Safety Guidelines, Deliverable B5.2 of the CODE Project, Telematics Application Programme. 1998
- [van Driel u. a. 2007] DRIEL, C. J. G. van ; HOEDEMAEKER, A. ; AREM, B. van: Impacts of a Congestion Assistant on driving behaviour and acceptance using a driving simulator. In: *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 10 (2007), Nr. 2, S. 139–152
- [Driscoll u. a. 2007] DRISCOLL, R. ; PAGE, Y. ; LASSARRE, S. ; EHRLICH, J.: Lavia - an Evaluation of the Potential Safety Benefits of the French Intelligent Speed Adaptation Project. In: *Annu Proc Assoc Adv Automot Med* 51 (2007), S. 485–505
- [Durekovic und Löwenau 2007] DUREKOVIC, S. ; LÖWENAU, J.: Detection of Legal Speed Limit Deviations. In: *14th World Congress on ITS*. Beijing, China, 2007
- [Ebersbach 2004] EBERSBACH, D.: Speed Control - Ein Fahrerassistenzsystem zur Unterstützung des Fahrers bei der Wahl seiner Geschwindigkeit. In: *Straßenverkehrstechnik* (2004), Nr. 10, S. 508–521
- [EC 2001] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES: *White Paper: European transport policy for 2010: time to decide*. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2001
- [Economic Commission for Europe 1968] ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE: *Convention on Road Signs and Signals*. Wien, 08.11.1968 1968
- [Eggemeier und Wilson 1991] EGGEMEIER, F. T. ; WILSON, G. F.: Subjective and performance-based assessment of workload in multiple-task environments. In: DAMOS, D. L. (Hrsg.): *Multiple Task Performance*. London : Taylor & Francis, 1991, S. 207–219
- [Elvik 2005] ELVIK, R.: Speed and road safety - Synthesis of evidence from evaluation studies. In: *Statistical Methods; Highway Safety Data, Analysis, and Evaluation; Occupant Protection; Systematic Reviews and Meta-Analysis* (2005), Nr. 1908, S. 59–69

- [Elvik u. a. 2004] ELVIK, R. ; CHRISTENSEN, P. ; AMUNDSEN, A.: *Speed and road accidents: An evaluation of the Power Model*. Bd. 740/2004. Oslo : Insitute of Transport Economics (TOI), 2004
- [Engström u. a. 2005a] ENGSTRÖM, J. ; ÅBERG, N. ; JOHANSSON, E.: Comparision between visual and tactile signal detection tasks applied to the safety assessment of in-vehicle information systems. In: *Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*. Rockport, Maine, USA : University of Iowa, 2005
- [Engström u. a. 2005b] ENGSTRÖM, J. ; JOHANSSON, E. ; ÖSTLUND, J.: Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. In: *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 8 (2005), Nr. 2, S. 97–120
- [Eurostat 2008] EUROSTAT: *Verkehrstote - Anzahl der getöteten Personen im Straßenverkehr je 1 Mio Einwohner*. 2008-08-23 2008
- [Fairclough u. a. 1993] FAIRCLOUGH, S. H. ; ASHBY, M. C. ; PARKES, A. M.: In-vehicle displays, visual workload and usability evaluation. In: GALE, A. G. (Hrsg.): *Vision in Vehicles IV*. Amsterdam : Elsevier, 1993, S. 245–254
- [Faul u. a. 2007] FAUL, F. ; ERDFELDER, E. ; LANG, A.-G. ; BUCHNER, A.: G*Power 3: A flexible statistical power analysis programm for the social, behavioural and biomedical sciences. In: *Behaviour Research Methods* 39 (2007), S. 175–191
- [Field 2005] FIELD, A.: *Discovering Statistics Using SPSS*. 2nd. London : SAGE Publications Ltd., 2005 (ISM Introducing Statistical Methods)
- [Finch u. a. 1994] FINCH, D. J. ; KOMPFFNER, P. ; LOCKWOOD, C. R. ; MAYCOCK, G.: *Speed, Speed Limits and Accidents* / Transport Research Laboratory. 1994 (58). Project Report
- [Flament 2005] FLAMENT, M.: ActMAP Final Report. 2005
- [Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1996] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN: *Richtlinien für die Anlage von Straßen - Teil Querschnitte (RAS-Q)*. 1996
- [Færdselssikkerhedskommissionen 2000] FÆRDELSSIKKERHEDSKOMMISSIONEN: *Hver ulykke er én for meget - Trafiksikkerhed starter med dig (Every Accident is one too Many – Traffic Safety Starts with You)*. / Færdselssikkerhedskommissionen. 2000

- [Fricke u. a. 2000] FRICKE, M. ; JUNGERMANN, H. ; EYFERTH, K.: Mensch-Maschine-Interaktion in Kooperativen Systemen der Flugsicherung und Flugführung. Kurzbericht über den Arbeitsstand / Technische Universität Berlin. Juni 2000 2000
- [Friedrich und Kemper 2006] FRIEDRICH, B. ; KEMPER, C.: Akzeptanz von Harmonisierungsmaßnahmen im Zuge von Verkehrsbeeinflussungsanlagen / Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Universität Hannover. 2006
- [Gelau 2005] GELAU, C.: Recent findings from the deufrako-project SafeMAP. In: *5th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*. Hannover, Germany, 2005
- [Glaser u. a. 2005] GLASER, W. R. ; WASCHULEWSKI, H. ; SCHMID, D.: I-TSA - Ein standardisiertes Verfahren zur Bewertung der Auswirkungen von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen auf die Verkehrssicherheit. In: *Fahrer im 21. Jahrhundert.*, VDI-Gesellschaft Fahrzeug und Verkehrstechnik, 2005
- [Green 1994] GREEN, P.: Measures and Methos Used to Assess the Safety and Usability of Driver Information Systems / The University of Michigan, Transportation Research Institute. 1994 (UMTRI-93-12 FHWA-RD-94-058). Technical Report
- [Grün u. a. 2005] GRÜN, C. ; GERKEN, J. ; JETTER, H.-C. ; KÖNIG, W. ; REITERER, H.: MedioVis – A User-Centred Library Metadata Browser. In: RAUBER, A. (Hrsg.): *9th European Conference on Research and Advanced Technology for Digital Libraries*. Vienna, Austria, 2005, S. 174–185
- [Haigney und Westerman 2001] HAIGNEY, D. ; WESTERMAN, S. J.: Mobile (cellular) phone use and driving: a critical review of research methodology. In: *Ergonomics* 44 (2001), Nr. 2, S. 132–143
- [Hancock und Meshkati 1988] HANCOCK, P. A. ; MESHKATI, N.: *Human mental workload*. Amsterdam u.a. : North-Holland, 1988 (Advances in psychology ; 52)
- [Harms und Patten 2001] HARMS, L. ; PATTEN, C.: The PDT-method as a standard for measurement of driver distraction - A field study. In: *9th International Conference Vision in Vehicles (VIV IX)*. Brisbane, Australia : Elsevier, 2001
- [Harms und Patten 2003] HARMS, L. ; PATTEN, C.: Peripheral detection as a measure of driver distraction. A study of memory-based versus system-based navigation in a built-up area. In: *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 6 (2003), Nr. 1, S. 23–36

- [Harper, B. and Norman, K. L. and Slaughter, L. and Shneiderman, B. 2006] HARPER, B. AND NORMAN, K. L. AND SLAUGHTER, L. AND SHNEIDERMAN, B.: *QUIS - Questionnaire for User Interaction Satisfaction*. 2007-01-09 2006
- [Hart und Staveland 1988] HART, S. G. ; STAVELAND, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In: HANCOCK, P. A. (Hrsg.) ; MESHKATI, N. (Hrsg.): *Human mental workload*. Amsterdam : North-Holland, 1988, S. 139–183
- [Hecht u. a. 2005] HECHT, C. ; HEINIG, K. ; STADLER, M.: Data Sourcing: Case Study Lower Saxony, D12.5 Part II of the MAPS & ADAS Project / MAPS & ADAS Consortium. 2005. Subproject Deliverable
- [Heinig 2006] HEINIG, K.: Versuchsfahrzeug T5. Technische Beschreibung Basisfahrzeug und Sondereinbauten, Benutzerführung / Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Universität Hannover. 2006
- [Heinig u. a. 2005] HEINIG, K. ; BARTELS, C. ; HECHT, C. ; T'SIOBBEL, S.: Tele Atlas MultiNet™, ADAS-Prototype Data Specification, Section 2.41 Draft Version 0.6. / Tele Atlas NV and Tele Atlas North America, Inc. 2005
- [Heinig u. a. 2007] HEINIG, K. ; MITTAZ, M. ; VARCHMIN, A. ; HECHT, C. ; T'SIOBBEL, S.: Driver Warning System Test Results, D 12.82 of the MAPS & ADAS Project. 2007. Subproject Deliverable
- [Hill u. a. 1992] HILL, S. G. ; IAVECCHIA, H. P. ; BYERS, J. C. ; BITTNER, A. C. ; ZAKLAD, A. L. ; CHRIST, R. E.: Comparison of 4 Subjective Workload Rating-Scales. In: *Human Factors* 34 (1992), Nr. 4, S. 429–439
- [Hjalmdahl u. a. 2002] HJALMDAHL, M. ; ALMQVIST, A. ; VARHELYI, A.: Speed Regulation by in-car active accelerator pedal - – Effects on Speed and Speed Distribution. In: *IATSS Research* 26 (2002), Nr. 2, S. 60–66
- [Hjalmdahl und Varhelyi 2004a] HJALMDAHL, M. ; VARHELYI, A.: Speed regulation by in-car active accelerator pedal - Effects on driver behaviour. In: *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 7 (2004), Nr. 2, S. 77–94
- [Hjalmdahl und Varhelyi 2004b] HJALMDAHL, M. ; VARHELYI, A.: Validation of in-car observations, a method for driver assessment. In: *Transportation Research Part a-Policy and Practice* 38 (2004), Nr. 2, S. 127–142

- [Hoogendoorn und Minderhoud 2001] HOOGENDOORN, S. P. ; MINDERHOUD, M. M.: ADAS Impact Assessment by Micro-Simulation. In: *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 1 (2001), Nr. 3, S. 255 – 275
- [Hughes und Cole 1986] HUGHES, P. K. ; COLE, B. L.: What Attracts Attention When Driving. In: *Ergonomics* 29 (1986), Nr. 3, S. 377–391
- [Human Factors Research Group 2006] HUMAN FACTORS RESEARCH GROUP: *Software Usability Measurement Inventory (SUMI)*. 2007-01-08 2006
- [ISO 14825 2004] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: *ISO 14825:2004 Intelligent Transport System - Geographic Data Files (GDF) - Overall Data Specification*. 2004
- [Jahn u. a. 2003] JAHN, G. ; KREMS, J. F. ; GELAU, C.: The 0.1 Hz component of heart rate variability (HRV) and the peripheral detection task (PDT) to measure driver workload. In: *Journal of Psychophysiology* 17 (2003), Nr. 3, S. 156–156
- [Jahn u. a. 2005] JAHN, G. ; OEHME, A. ; KREMS, J. F. ; GELAU, C.: Peripheral detection as a workload measure in driving: Effects of traffic complexity and route guidance system use in a driving study. In: *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 8 (2005), Nr. 3, S. 255–275
- [Jamson 2006] JAMSON, S.: Would those who need ISA, use it? Investigating the relationship between drivers' speed choice and their use of a voluntary ISA system. In: *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 9 (2006), Nr. 3, S. 195–206
- [Johansson u. a. 2005] JOHANSSON, E. ; ENGSTRÖM, J. ; CHERRI, C. ; NODARI, A. ; TOFFETTI, A. ; SCHINDHELM, R. ; GELAU, C.: Review of existing techniques and metrics for IVIS and ADAS assessment, Deliverable 2.2.1 of the Integrated Project AIDE / AIDE Consortium. 2005
- [Kirakowski, J. 2005] KIRAKOWSKI, J.: *WAMMI*. 2007-01-08 2005
- [Kloeden u. a. 2001] KLOEDEN, C. ; PONTE, G. ; MCLEAN, A.: Travelling Speed and the Risk of Crash Involvement on Rural Roads / Road Accident Research Unit, Adelaide University, SOUTH AUSTRALIA 5005. 2001 (CR204).
- [Kondzior 1997] KONDZIOR, M.: Fragebogen zur Erfassung der Akzeptanz, Deutsche Übersetzung des Fragebogens von Van der Laan u. a. (1997). 2006-08-07 1997

- [Van der Laan u. a. 1997] LAAN, J. D. Van der ; HEINO, A. ; WAARD, D. de: A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. In: *Transportation Research Part C-Emerging Technologies* 5 (1997), Nr. 1, S. 1–10
- [LabJack Corporation 2003] CORPORATION, LabJack: LabJacks U12 User's Guide, Revision 1.08. 2003-09-09 2003
- [Lamble u. a. 1999] LAMBLE, D. ; LAAKSO, M. ; SUMMALA, H.: Detection thresholds in car following situations and peripheral vision: implications for positioning of visually demanding in-car displays. In: *Ergonomics* 42 (1999), Nr. 6, S. 807–815
- [Ledolter und Chan 1996] LEDOLTER, J. ; CHAN, K. S.: Evaluating the impact of the 65 mph maximum speed limit on Iowa rural interstates. In: *American Statistician* 50 (1996), Nr. 1, S. 79–85
- [Lewis 1995] LEWIS, J. R.: IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires - Psychometric Evaluation and Instructions for Use. In: *International Journal of Human-Computer Interaction* 7 (1995), Nr. 1, S. 57–78
- [Liu und Tate 2004] LIU, R. H. ; TATE, J.: Network effects of intelligent speed adaptation systems. In: *Transportation* 31 (2004), Nr. 3, S. 297–325
- [Ljung u. a. 2007] LJUNG, M. ; BLOMMER, M. ; CURRY, R. ; ARTZ, B. ; GREENBERG, J. ; KOCHHAR, D. ; TIJERINA, L. ; FAGERSTROM, M. ; JAKOBSSON, L.: The influence of study design on results in HMI testing for active safety. In: *20th Enhanced Safety of Vehicles Conference*. Lyon : National Highway Traffic Safety Administration, 2007
- [Loftus und Masson 1994] LOFTUS, G. R. ; MASSON, M. E. J.: Using Confidence-Intervals in within-Subject Designs. In: *Psychonomic Bulletin & Review* 1 (1994), Nr. 4, S. 476–490
- [Ludwig-Mayerhofer, W. 2006] LUDWIG-MAYERHOFER, W.: *ILMES - Internet-Lexikon der Methoden der empirischen Sozialforschung*. 2007-01-03 2006
- [Lund 2001] LUND, A.: Measuring Usability with the USE Questionnaire. In: *STC Usability SIG Newsletter* 8 (2001), Nr. 2
- [Ma und Andreasson 2005] MA, X. L. ; ANDREASSON, I.: Predicting the effect of various ISA penetration grades on pedestrian safety by simulation. In: *Accident Analysis and Prevention* 37 (2005), Nr. 6, S. 1162–1169

- [Marchau u. a. 2005] MARCHAU, V. A. W. J. ; HEIJDEN, R. E. C. M. van der ; MOLIN, E. J. E.: Desirability of advanced driver assistance from road safety perspective: the case of ISA. In: *Safety Science* 43 (2005), Nr. 1, S. 11–27
- [Markkula und Engström 2006] MARKKULA, G. ; ENGSTRÖM, J.: A Steering Wheel Reversal Rate Metric for Assessing Effects of Visual and Cognitive Secondary Task Load. In: *13th World Congress on Intelligent Transport Systems and Services*. London, UK, 2006
- [Maurer u. a. 2005] MAURER, P. ; OMASITS, D. ; SPANEL, T. ; WIDMANN, N.: RONCALL_I2 - Die Clearing-Stelle als Marktplatz für multimodale Verkehrstelematik-Information. In: *agit2005 - Symposium und Fachmesse für Angewandte GeoInformatik*. Salzburg, 2005, S. 35 – 43
- [Meshkati u. a. 1989] MESHKATI, N. ; HANCOCK, P. A. ; RAHIMI, M.: Techniques of mental workload assessment. In: WILSON, J. (Hrsg.): *Evaluation of Human Work: Practical Ergonomics Methodology*. London : Taylor and Francis, 1989
- [Michon 1985] MICHON, J. A.: A critical review of driver behaviour models: What do we know? What should we do? In: EVANS, L. (Hrsg.) ; SCHWING, R. C. (Hrsg.): *Human Behaviour and Traffic Safety*. New York : Plenum Pub Corp., 1985, S. 487–525
- [MIL-STD-1472F 1999] U. S. DEPARTMENT OF DEFENSE: *Design Criteria Standard MIL-STD-1472F*. 1999
- [Mittaz u. a. 2006] MITTAZ, M. ; HEINIG, K. ; HECHT, C.: Software Design of the Driver Warning System application / MAPS & ADAS consortium. 2006
- [Miura 1986] MIURA, T.: Coping with situational demands: A study of eye movement and peripheral vision performance. In: GALE, A. G. (Hrsg.) ; BROWN, I. D. (Hrsg.) ; HASLEGRAVE, C. M. (Hrsg.) ; TAYLOR, S. P. (Hrsg.): *Vision in vehicles II*. Amsterdam : Elsevier, 1986
- [Müller u. a. 1999] MÜLLER, T. ; GIESA, H.-G. ; ANDERS, G.: Entwicklung und Evaluierung einer bordseitigen Benutzungsoberfläche für Data-Link-Kommunikation zwischen Piloten und Fluglotsen. In: *MMI-Interaktiv* 2 (1999), Nr. 10, S. 1–15
- [Molich u. a. 2004] MOLICH, R. ; EDE, M. R. ; KAASGAARD, K. ; KARYUKIN, B.: Comparative usability evaluation. In: *Behaviour & Information Technology* 23 (2004), Nr. 1, S. 65–74
- [MoyanoDiaz 1997] MOYANODIAZ, E.: Evaluation of traffic violation behaviors and the causal attribution of accidents in Chile. In: *Environment and Behavior* 29 (1997), Nr. 2, S. 264–282

- [Nakayama u. a. 1999] NAKAYAMA, O. ; FUTAMI, T. ; BOER, E. R.: Development of a steering entropy method for evaluating driver workload, Technical Paper No. 1999-01-0892. In: *SAE international congress and exposition*. Detroit, Michigan : Society of Automotive Engineers, 1999
- [NASA Human Performance Research Group 2003] NASA HUMAN PERFORMANCE RESEARCH GROUP: NASA Task Load Index (TLX) V 1.0 Users Manual / Human Performance Research Group, National Aeronautics and Space Administration Ames Research Center. 2002-03-12 2003. Manual
- [Nickel und Nachreiner 2003] NICKEL, P. ; NACHREINER, F.: Sensitivity and diagnosticity of the 0.1-Hz component of heart rate variability as an indicator of mental workload. In: *Human Factors* 45 (2003), Nr. 4, S. 575–590
- [Nickel u. a. 2003] NICKEL, P. ; NACHREINER, F. ; YANAGIBORI, R.: The 0.1 Hz component of HRV as an indicator of mental workload: Sensitivity for intensity and time on task effects. In: *Journal of Psychophysiology* 17 (2003), Nr. 2, S. 94–94
- [Nilsson 1990] NILSSON, G.: Reduction in the speed limit from 110 km/h to 90 km/h during summer 1989 - Effects on personal injury accidents, injured and speeds / Swedish Road and Traffic Research Institute. 1990
- [Nilsson 2000] NILSSON, G.: Hastighetsförändringar och trafiksäkerhetseffekter - Potensmodellen / VTI - Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI notat 76-2000, Sweden. 2000
- [Nilsson 2004] NILSSON, G.: Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed and Safety. 2004
- [Nilsson und Anderson 1997] NILSSON, G. ; ANDERSON, G.: Speed management in Sweden: speed, speed limits and safety / Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI, Sweden. 1997
- [Nunes und Recarte 2002] NUNES, L. ; RECARTE, M. A.: Cognitive demands of hands-free-phone conversation while driving. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 5 (2002), Nr. 2, S. 133–144
- [Nygren 1991] NYGREN, T. E.: Psychometric Properties of Subjective Workload Measurement Techniques - Implications for Their Use in the Assessment of Perceived Mental Workload. In: *Human Factors* 33 (1991), Nr. 1, S. 17–33

- [Olsson, S. and Burns, P. 2000] OLSSON, S. AND BURNS, P.: *Measuring Driver Visual Distraction with a Peripheral Detection Task*. 2000
- [Ossiander und Cummings 2002] OSSIANDER, E. M. ; CUMMINGS, P.: Freeway speed limits and traffic fatalities in Washington State. In: *Accident Analysis and Prevention* 34 (2002), Nr. 1, S. 13–18
- [Patten u. a. 2004] PATTEN, C. J. D. ; KIRCHER, A. ; OSTLUND, J. ; NILSSON, L.: Using mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation. In: *Accident Analysis and Prevention* 36 (2004), Nr. 3, S. 341–350
- [Patten u. a. 2006] PATTEN, C. J. D. ; KIRCHER, A. ; OSTLUND, J. ; NILSSON, L. ; SVENSON, O.: Driver experience and cognitive workload in different traffic environments. In: *Accident Analysis and Prevention* 38 (2006), Nr. 5, S. 887–894
- [Perchina u. a. 2004] PERCHINA, M. ; ARBITMANN, M. ; ANGENVOORT, J. ; VARCHMIN, A. ; DJUREKOVIC, S.: Interface and Data Entity Specifications (Draft), Part 3 - API Specification, D 12.42.1 of the MAPS & ADAS Project / MAPS & ADAS Consortium. 10.12.2004 2004. Subproject Deliverable
- [Piechulla u. a. 2003] PIECHULLA, W. ; MAYSER, C. ; GEHRKE, H. ; KONIG, W.: Reducing drivers' mental workload by means of an adaptive man-machine interface. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 6 (2003), Nr. 4, S. 233–248
- [Prümper 1997] PRÜMPER, J.: Der Benutzungsfragebogen ISONORM 9241/10: Ergebnisse Zur Reliabilität und Validität. In: LISKOWSKY, R. (Hrsg.): *Software-Ergonomie '97*. Stuttgart, 1997
- [Prümper und Anft 1993] PRÜMPER, J. ; ANFT, M.: Die Evaluation von Software auf Grundlage des Entwurfs zur internationalen Ergonomie-Norm 9241 Teil 10 als Beitrag zur partizipativen Systemgestaltung - ein Fallbeispiel. In: RÖDINGER, K. H. (Hrsg.): *Software-Ergonomie '93*. Stuttgart, 1993
- [Päätälä u. a. 2001] PÄÄTÄLÄ, M. ; PELTOLA, H. ; KALLIO, M.: Intelligent Speed Adaptation - Effects in driving behaviour. In: *Proceedings of the Conference Road Safety on Three Continents*. Bd. 3. Moscow, Russia : Kenneth Asp, 2001
- [Ranney u. a. 2005] RANNEY, T. A. ; HARBLUK, J. L. ; NOY, Y. I.: Effects of voice technology on test track driving performance: Implications for driver distraction. In: *Human Factors* 47 (2005), Nr. 2, S. 439–454

- [Recarte und Nunes 2003] RECARTE, M. A. ; NUNES, L. M.: Mental workload while driving: Effects on visual search, discrimination, and decision making. In: *Journal of Experimental Psychology-Applied* 9 (2003), Nr. 2, S. 119–137
- [Regan u. a. 2006] REGAN, M. A. ; TRIGGS, T. J. ; YOUNG, K. L. ; TOMASEVIC, N. ; MITSOPOULOS, E. ; STEPHAN, K. ; TINGVALL, C.: On-Road Evaluation of Intelligent Speed Adaptation, Following Distance Warnung and Seatbelt Reminder Systems: Final Result of the TAC SafeCar Project. Volume 1: Final Report / Monash University Accident Research Centre. 2006 (253).
- [Reid und Nygren 1988] REID, G. B. ; NYGREN, T. E.: The Subjective Workload Assessment Technique: A Scaling Procedure for Measuring Mental Workload. In: HANCOCK, P. A. (Hrsg.) ; MESHKATI, N. (Hrsg.): *Human mental workload*. Amsterdam : North-Holland, 1988, S. 185–218
- [Richter u. a. 2004] RICHTER, E. D. ; BARACH, P. ; FRIEDMAN, L. ; KRIKLER, S. ; ISRAELI, A.: Raised speed limits, speed spillover, case-fatality rates, and road deaths in Israel: a 5-year follow-up. In: *Am J Public Health* 94 (2004), Nr. 4, S. 568–74
- [Richter u. a. 2006] RICHTER, E. D. ; BERMAN, T. ; FRIEDMAN, L. ; BEN-DAVID, G.: Speed, road injury, and public health. In: *Annu Rev Public Health* 27 (2006), S. 125–52
- [Risser und Brandstätter 1985] RISSE, R. ; BRANDSTÄTTER, C.: Die Wiener Fahrprobe / Verkehrspsychologisches Institut des Kuratoriums für Verkehrssicherheit. 1985 1985 (21).
- [Risser und Lehner 1997] RISSE, R. ; LEHNER, U.: Evaluation of an ACC (Autonomous Cruise Control) system with the help of behaviour observation. In: *4th World congress on Intelligent Transportation Systems*. Berlin, Germany, 1997
- [Robert Bosch GmbH 1991] ROBERT BOSCH GMBH: CAN Specification Version 2.0. 1991
- [Rock 1995] ROCK, S. M.: Impact of the 65-Mph Speed Limit on Accidents, Deaths, and Injuries in Illinois. In: *Accident Analysis and Prevention* 27 (1995), Nr. 2, S. 207–214
- [Rockwell 1988] ROCKWELL, T.: Spare visual capacity in driving - revisited: New empirical results for an old idea. In: GALE, A. G. (Hrsg.): *Vision in Vehicles II*. Amsterdam : Elsevier, 1988, S. 317–324
- [Roncalli-Konsortium 2006] RONCALLI-KONSORTIUM: RONCALLI telematics / Roncalli Konsortium. 2006-03-06 2006

- [Rook und Hogema 2005] ROOK, A. M. ; HOGEMA, J. H.: Effects of human-machine interface design for intelligent speed adaptation on driving behavior and acceptance. In: *Human Performance; Simulation and Visualization* (2005), Nr. 1937, S. 79–86
- [Rosencrantz u. a. 2007] ROSENCRANTZ, H. ; EDVARDSSON, K. ; HANSSON, S. O.: Vision Zero - Is it irrational? In: *Transportation Research Part a-Policy and Practice* 41 (2007), Nr. 6, S. 559–567
- [Rosenthal 1991] ROSENTHAL, R.: *Meta-analytic procedures for social research*. Rev. ed. Newbury Park, Calif. : Sage Publ., 1991 (Applied social research methods series ; v. 6)
- [Rubio u. a. 2004] RUBIO, S. ; DIAZ, E. ; MARTIN, J. ; PUENTE, J. M.: Evaluation of subjective mental workload: A comparison of SWAT, NASA-TLX, and workload profile methods. In: *Applied Psychology-an International Review-Psychologie Appliquee-Revue Internationale* 53 (2004), Nr. 1, S. 61–86
- [Salusjärvi 1981] SALUSJÄRVI, M.: *The speed limit experiments on public roads in Finland*. Bd. 7/1981. Espoo : Technical Research Centre of Finland (VTT), 1981
- [Schick 2003] SCHICK, P.: *Einfluss von Streckenbeeinflussungsanlagen auf die Kapazität von Autobahnabschnitten sowie die Stabilität des Verkehrsflusses*, Universität Stuttgart, Dissertation, 2003
- [Seeing Machines 2006] SEEING MACHINES: *faceLAB 4*. 2006
- [Sentinel Geo Systems 2003] SENTINEL GEO SYSTEMS: *Road Angel - Guarding Your Life and License, Technical Product Orientation*. 2003
- [Sentinel Geo Systems 2004] SENTINEL GEO SYSTEMS: *Road Angel - Guarding Your Life and License*. 2004
- [Sentinel Geo Systems 2006] SENTINEL GEO SYSTEMS: *Road Sense*. 2006-03-06 2006
- [Spielhofer u. a. 2005] SPIELHOFER, R. ; MAURER, P. ; MEISSNER, M. ; MACHATA, K.: Roncalli - bringing position dependent real-time information to the driver. In: *12th World Congress on Intelligent Transport Systems*. San Francisco, 2005
- [Statens Vegvesen 2006] VEGVESEN, Statens ; POLITIDIREKTORAT ; TRAFIK, Trygg ; HELSEDIREKTORATET, S.-o.: *Nasjonal handlingsplan for trafikksikkerhet på veg 2006 - 2009* (National Strategy Plan for Road Safety 2006 - 2009). 2006

- [Statistisches Bundesamt 2007] BUNDESAMT, Statistisches: Unfallgeschehen im Straßenverkehr 2006. 2007
- [Strayer und Johnston 2001] STRAYER, D. L. ; JOHNSTON, W. A.: Driven to distraction: Dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. In: *Psychological Science* 12 (2001), Nr. 6, S. 462–466
- [StVO 2007] STVO: *Straßenverkehrs-Ordnung vom 16. November 1970 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch die Verordnung vom 28. November 2007 (BGBl. I S. 2774)*. 28.11.2007 2007
- [StVUnfStatG 1990] STVUNFSTATG: *Gesetz über die Statistik der Straßenverkehrsunfälle, Stand: Zuletzt geändert durch Art. 254 V v. 29.10.2001 I 2785*. 29.10.2001 1990
- [Summala u. a. 1996] SUMMALA, H. ; NIEMINEN, T. ; PUNTO, M.: Maintaining lane position with peripheral vision during in-vehicle tasks. In: *Human Factors* 38 (1996), Nr. 3, S. 442–451
- [Thomas u. a. 2008] THOMAS, B. ; LÖWENAU, J. ; DUREKOVIC, S. ; OTTO, H.-U.: The ActMAP – FeedMAP Framework. A Basis for in-vehicle ADAS Application Improvement. In: *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Eindhoven, The Netherlands : IEEE Press, 2008
- [Tijerina 2000] TIJERINA, L.: Issues in the Evaluation of Driver Distraction Associated with In-Vehicle Information and Telecommunications Systems. 2006-09-05 2000
- [Tornros und Bolling 2006] TORNROS, J. ; BOLLING, A.: Mobile phone use - effects of conversation on mental workload and driving speed in rural and urban environments. In: *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 9 (2006), Nr. 4, S. 298–306
- [T'Siobbel u. a. 2005a] T'SIOBBEL, S. ; BARTELS, C. ; T., W. ; GODART, J.: Advanced Data Collection Technologies, D12.5 Part IV of the MAPS & ADAS Project / MAPS & ADAS Consortium. 2005. Subproject Deliverable
- [T'Siobbel u. a. 2005b] T'SIOBBEL, S. ; WEVERS, K. ; HECHT, C. ; HEINIG, K.: Data Sourcing - Data Inventory and Interface, D12.5 Part I of the MAPS & ADAS Project / MAPS & ADAS Consortium. 2005. Subproject Deliverable
- [Tullis und Stetson 2004] TULLIS, T. S. ; STETSON, J. N.: A Comparison of Questionnaires for Assessing Website Usability. In: *UPA 2004: Connecting Communities*. Minneapolis, Minnesota : Usability Professionals' Association, 2004

- [UsabilityNet 2003] USABILITYNET: *UsabilityNet - A European Union project that provides usability and user centred design resources to practitioners, managers and EU projects*. 2007-01-09 2003
- [Varhelyi 2002] VARHELYI, A.: Speed management via in-car devices: effects, implications, perspectives. In: *Transportation* 29 (2002), Nr. 3, S. 237–252
- [Varhelyi u. a. 2005] VARHELYI, A. ; ADELL, E. ; ROOK, A. ; HOGEMA, J. ; BROEKX, S. ; PANIS, L. I.: Driver behavioural effects from ISA - Deliverable 3.4 of the PROSPER projects / PROSPER consortium. 2005
- [Varhelyi u. a. 2004] VARHELYI, A. ; HJALMDAHL, M. ; HYDEN, C. ; DRASKOCZY, M.: Effects of an active accelerator pedal on driver behaviour and traffic safety after long-term use in urban areas. In: *Accident Analysis and Prevention* 36 (2004), Nr. 5, S. 729–737
- [Varhelyi u. a. 2002] VARHELYI, A. ; HYDEN, C. ; HJALMDAHL, M. ; RISSER, R. ; DRASKOCZY, M.: The effects of large scale use of active accelerator pedal in urban areas. In: *15th ICTCT workshop on Speed management strategies and implementation*. Brno, Czech Republik, 2002
- [Varhelyi und Mäkinen 1998] VARHELYI, A. ; MÄKINEN, T.: Evaluation of in-car speed limiters - Field study / VTT. 1998 (Working Paper R 3.2.2).
- [Varhelyi und Mäkinen 2001] VARHELYI, A. ; MÄKINEN, T.: The effects of in-car speed limiters: field studies. In: *Transportation Research Part C-Emerging Technologies* 9 (2001), Nr. 3, S. 191–211
- [Vägverket 2002] ADMINISTRATION, Vägverket Swedish National R.: Umeå - Results "Smart Speed" / Vägverket - Swedish National Road Administration. 2002
- [Vägverket 2006] VÄGVERKET: Safe Traffic - Vision Zero on the move / Vagverket. 2006
- [Vlassenroot u. a. 2007] VLASSENROOT, S. ; BROEKX, S. ; DE MOL, J. ; PANIS, L. I. ; BRIJS, T. ; WETS, G.: Driving with intelligent speed adaptation: Final results of the Belgian ISA-trial. In: *Transportation Research Part A-Policy and Practice* 41 (2007), Nr. 3, S. 267–279
- [Vogt u. a. 2006] VOGT, W. ; HEINIG, K. ; HECHT, C. ; STADLER, M. ; T'SIOBBEL, S. ; WEVERS, K. ; MITTAZ, M.: Driver Warning System use cases and specification, D 12.71.2 of the MAPS & ADAS Project / MAPS & ADAS Consortium. 27.10.2005 2006. Subproject Deliverable

- [Volkswagen AG 2003] VOLKSWAGEN AG: *T5; technische Daten E-Schnittstelle; Beschreibung der Schnittstelle Sonderfahrzeuge*. 2003
- [de Waard 1996] WAARD, D. de: *The measurement of drivers' mental workload*. Groningen : Traffic Research Centre, Univ. of Groningen, 1996
- [af Wahlberg 2006] WAHLBERG, A. E. af: Driver celeration behavior and the prediction of traffic accidents. In: *Int J Occup Saf Ergon* 12 (2006), Nr. 3, S. 281–96
- [af Wahlberg 2007] WAHLBERG, A. E. af: Long-term prediction of traffic accident record from bus driver celeration behavior. In: *Int J Occup Saf Ergon* 13 (2007), Nr. 2, S. 159–71
- [Warner und Åberg 2008] WARNER, H. W. ; ÅBERG, L.: The long-term effects of an ISA speed-warning device on drivers' speeding behaviour. In: *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 11 (2008), Nr. 2, S. 96–107
- [Wierwille und Casali 1983] WIERWILLE, W. W. ; CASALI, J. G.: A validated rating scale for global mental workload measurement applications. In: EGGEMEIER, F. T. (Hrsg.) ; CRABTREE, M. S. (Hrsg.) ; LAPOINTE, P. A. (Hrsg.): *Human Factors Society 27th Annual Meeting*. Santa Monica, CA : Human Factors and Ergonomics Society, 1983, S. 129–133
- [Wierwille und Eggemeier 1993] WIERWILLE, W. W. ; EGGEMEIER, F. T.: Recommendations for Mental Workload Measurement in a Test and Evaluation Environment. In: *Human Factors* 35 (1993), Nr. 2, S. 263–281
- [Wikman u. a. 1998] WIKMAN, A.-S. ; NIEMINEN, T. ; SUMMALA, H.: Driving experience and time-sharing during in-car tasks on roads of different width. In: *Ergonomics* 41 (1998), Nr. 3, S. 358–372
- [Willumeit u. a. 1996] WILLUMEIT, H. ; GEDIGA, G. ; HAMBORG, K.-C.: IsoMetrics: Ein Verfahren zur formativen Evaluation von Software nach ISO 9241/10. In: *Ergonomie & Informatik* 27 (1996), S. 5–12
- [Zackor u. a. 1972] ZACKOR, H. ; BOESEFELDT, J. ; KEUDEL, A.: Beurteilung verkehrsabhängiger Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Autobahnen Zackor, Boesefeldt, Keudel / Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau, Bonn. 1972

Abbildungsverzeichnis

1.1.	Anzahl der im Straßenverkehr Getöteten und Mortalitätsrate (Getötete je 1 Mio. Einwohner) in Europa und Deutschland von 1995 bis 2006 (Eurostat, 2008).	1
1.2.	Einfluss der Assistenzstrategie eines Fahrerinformations-/ Fahrerassistenzsystems auf den Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Umwelt.	3
2.1.	Struktur der RONCALLI- und RONCALL_I2-Dienste (Spielhofer u. a., 2005)	7
2.2.	Einfluss der Route auf die Warnung durch den „Road Angel“ (Sentinel Geo Systems, 2004). Durch die Balken unter den Positionsangaben wird die Dringlichkeit der Warnung angezeigt, dabei stellen fünf Balken die höchste Warnstufe dar.	8
3.1.	Programmablauf im DWS mit den beiden Applikationen HSW und SLW.	13
3.2.	GDF Datenmodell der Speed Limits	14
3.3.	Ermittlung der anzuzeigenden Geschwindigkeitsbeschränkung.	16
3.4.	GDF Datenmodell der Hot Spots	20
3.5.	Zusammenhang zwischen Sonnenstand, Dämmerung und der Definition der Validity Period	22
3.6.	Algorithmus der HSW zur Anzeige des aktuellen Hot Spot. Das Ablaufdiagramm stellt die von Vogt, Heinig, Hecht, Stadler, T'Siobbel, Wevers und Mittaz (2006) beschriebene Spezifizierung des HSW Algorithmus dar.	24
3.7.	Beispiel für einen Hot Spot.	25
3.8.	Platzierung der Anzeige des MFD-II, das für die Anzeige der Informationen und Warnungen des DWS genutzt wird.	26
3.9.	Sichtfeld eines Nutzers, innerhalb dessen durch Kopf- und Augenrotation Informationen optimal aufgenommen werden können (MIL-STD-1472F, 1999).	27
4.1.	Kategorisierung von Bewertungsmethoden zur Beurteilung der Verkehrssicherheit von Fahrerinformationssystemen, angelehnt an DIN EN ISO 17287 (2003).	29

4.2.	Kombination der von Draskoczy u. a. (1998) definierten und hier erweiterten Wirkungsbereiche von FIS/ FAS auf die Verkehrssicherheit mit den drei Ebenen der Fahraufgabe nach Michon (1985).	33
4.3.	Zusammenhang zwischen den drei Ebenen der Sicherheitsanalysen und der Identifizierung von Forschungsfragen und Hypothesen.	34
4.4.	Sequenz zu Bewertung der Wirkung von Systemen.	35
4.5.	Fragebogen zur Erfassung der Akzeptanz nach Van der Laan u. a. (1997) in der Übersetzung von Kondzior (1997)	46
4.6.	Fragen des System Usability Scale nach Brooke (1996) in der verwendeten deutschen Übersetzung.	49
5.1.	Versuchsträger Volkswagen Bus T5 7HM MJ 2006, Motorisierung R5 2,5l TDI 128 kW, Getriebe 6 Gang manuell.	53
5.2.	Systemarchitektur der wesentlichen Elemente für den Betrieb des Driver Warning System und das Datenlogging.	56
5.3.	Anzeige des DWS auf dem Display des MFD-II.	56
5.4.	Synchrone Videoaufnahme in Fahrtrichtung und Gesicht des Fahrers (Gesicht aus Datenschutzgründen unkenntlich gemacht).	59
5.5.	Versuchsaufbau für den Peripheral Detection Task	60
6.1.	Modifizierte Graphik für die Hot Spot Warning.	64
6.2.	Die für die abschließende Auswahl in Betracht kommenden Abschnitte TS 1 bis TS 14 der Teststrecke.	68
6.3.	Für die Untersuchung ausgewählte Teststrecke mit ihren vier Abschnitten.	69
6.4.	Teststrecke mit kategorisierten Hot Spots (vgl. Kapitel 3.4.1 auf Seite 17) und zulässigen Höchstgeschwindigkeiten.	71
7.1.	Schematische Übersicht der Datenanalyse zur Identifizierung des Einflusses des Driver Warning System auf das Fahrverhalten der Probanden.	74
7.2.	Mittelwerte der Störvariablen der Untersuchungs- und Kontrollgruppe.	77
7.3.	Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach Geschlecht. Die Spannweiten der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle (d).	83
7.4.	Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vorher/ nachher: Auswertung nach Geschlecht. Die Spannweiten der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle (d).	86

7.5. Bewertung der Gebrauchstauglichkeit der beiden Applikationen nach dem System Usability Scale von Brooke (1996) (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).	87
7.6. Bewertung der Einzelfragen für die Speed Limit Warning nach dem System Usability Scale von Brooke (1996) (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).	88
7.7. Bewertung der Einzelfragen für die Hot Spot Warning nach dem System Usability Scale von Brooke (1996) (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).	88
7.8. Histogramm der Geschwindigkeiten bei unbeeinflusster Fahrt (Daten eines Probanden der Untersuchungsgruppe aus Runde 1).	90
7.9. Geschwindigkeiten der Kontrollgruppe in beiden Runden im Vergleich (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).	93
7.10. Geschwindigkeiten der Untersuchungsgruppe in beiden Runden im Vergleich (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).	94
7.11. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung der Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 1 und Runde 2.	95
7.12. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2 und Sektion 2.	97
7.13. Einfluss der Hot Spot Warning auf das Verhalten der Probanden hinsichtlich Geschwindigkeitswahl, Gaspedalbetätigung und Bremsverhalten.	100
7.14. Indikatoren der Geschwindigkeitsüberschreitungen der Kontrollgruppe (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).	103
7.15. Indikatoren der Geschwindigkeitsüberschreitungen der Untersuchungsgruppe (Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervallen CI).	105
7.16. Theoretische Verteilung der Indikatoren der Geschwindigkeitsüberschreitungen von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2.	107
7.17. Theoretische Verteilung der Indikatoren der Geschwindigkeitsüberschreitungen von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Sektion 2 der Runde 2.	108
7.18. Reaktionszeiten und Trefferquoten der Kontrollgruppe im Vergleich.	111
7.19. Reaktionszeiten und Trefferquoten der Untersuchungsgruppe im Vergleich.	113
7.20. Lenkwinkelumkehrrate der Kontrollgruppe in beiden Runden im Vergleich.	116
7.21. Lenkwinkelumkehrrate der Untersuchungsgruppe in beiden Runden im Vergleich.	117
8.1. Zusammenhang zwischen Unfallzahlen und Geschwindigkeitsänderungen nach Nilsson (2004).	134
8.2. Der von Kloeden u. a. (2001) gefundene Zusammenhang zwischen relativer Geschwindigkeit und Unfallrisiko.	136

A.1. Ablaufdiagramm des Algorithmus des SLW (Mittaz u. a., 2006).	181
A.2. Ablaufdiagramm des Algorithmus des SLW, Berechnung des anzuzeigenden Speed Limits (Displayed Speed Limit, DSL)(Mittaz u. a., 2006).	182
A.3. Ablaufdiagramm des Algorithmus der HSW (1) (Mittaz u. a., 2006).	185
A.4. Ablaufdiagramm des Algorithmus der HSW (2) (Mittaz u. a., 2006).	186
A.5. Ablaufdiagramm des Algorithmus der HSW (3) (Mittaz u. a., 2006).	187
A.6. Ablaufdiagramm des Algorithmus der HSW (4) (Mittaz u. a., 2006).	188
A.7. Ablaufdiagramm des Algorithmus der HSW (5) (Mittaz u. a., 2006).	189
 B.1. Die für die abschließende Auswahl in Betracht kommenden Abschnitte TS 1 bis TS 14 der Teststrecke.	 191
B.2. Die für die abschließende Auswahl in Betracht kommenden Abschnitte der Teststrecke mit Angaben zu den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und den identifizierten Hot Spots.	192
 C.1. Alterstruktur der Probanden	 197
C.2. Dauer des Führerscheinbesitzes der Probanden	198
C.3. Fahrerfahrung der letzten zwölf Monate der Probanden	198
 E.1. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	 214
E.2. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	215
E.3. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	216
E.4. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	217
E.5. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	218

E.6. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	219
E.7. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	220
E.8. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	221
E.9. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	222
E.10. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	223
E.11. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.	224
E.12. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.	225
E.13. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.	226
E.14. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.	227

E.15. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.	228
E.16. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	230
E.17. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	231
E.18. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	232
E.19. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	233
E.20. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	234
E.21. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	235
E.22. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	236
E.23. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	237
E.24. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	238

E.25. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.	239
E.26. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vorher/ nachher: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.	240
E.27. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.	241
E.28. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.	242
E.29. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.	243
E.30. Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.	244
F.1. Gebrauchstauglichkeit der Speed Limit Warning: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.	246
F.2. Gebrauchstauglichkeit der Speed Limit Warning: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.	247
F.3. Gebrauchstauglichkeit der Speed Limit Warning: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.	248
F.4. Gebrauchstauglichkeit der Speed Limit Warning: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.	249

F.5. Gebrauchstauglichkeit der Speed Limit Warning: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht mit der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.	250
F.6. Gebrauchstauglichkeit der Hot Spot Warning: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.	251
F.7. Gebrauchstauglichkeit der Hot Spot Warning: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.	252
F.8. Gebrauchstauglichkeit der Hot Spot Warning: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.	253
F.9. Gebrauchstauglichkeit der Hot Spot Warning: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.	254
F.10. Gebrauchstauglichkeit der Hot Spot Warning: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht mit der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.	255
G.1. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung der Kontrollgruppe in Runde 1 und den Sektionen 1 bis 4 der Teststrecke.	260
G.2. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung der Kontrollgruppe in Runde 2 und den Sektionen 1 bis 4 der Teststrecke.	260
G.3. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung der Untersuchungsgruppe in Runde 1 und den Sektionen 1 bis 4 der Teststrecke.	261
G.4. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung der Untersuchungsgruppe in Runde 2 und den Sektionen 1 bis 4 der Teststrecke.	261
G.5. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe der Runden 1 und 2 in Sektion 1.	262
G.6. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe der Runden 1 und 2 in Sektion 2.	262
G.7. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe der Runden 1 und 2 in Sektion 3.	263
G.8. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe der Runden 1 und 2 in Sektion 4.	263

G.9. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2 und Sektion 1.	264
G.10. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2 und Sektion 3.	265
G.11. Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2 und Sektion 4.	266
H.1. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 1.	269
H.2. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 2.	269
H.3. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Untersuchungsgruppe in Runde 1.	270
H.4. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Untersuchungsgruppe in Runde 2.	270
H.5. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 1.	271
H.6. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 2.	271
H.7. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 3.	272
H.8. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 4.	272
H.9. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 1 der Runde 2.	273
H.10. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 2 der Runde 2	273
H.11. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 3 der Runde 2	274
H.12. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 4 der Runde 2	274
H.13. Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 1.	275
H.14. Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 2.	275

H.15.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Untersuchungsgruppe in Runde 1.	276
H.16.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Untersuchungsgruppe in Runde 2.	276
H.17.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 1.	277
H.18.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 2.	277
H.19.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 3.	278
H.20.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 4.	278
H.21.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 1 der Runde 2.	279
H.22.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 2 der Runde 2.	279
H.23.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 3 der Runde 2.	280
H.24.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 4 der Runde 2.	280
H.25.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 1.	281
H.26.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 2.	281
H.27.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ der Untersuchungsgruppe in Runde 1.	282
H.28.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ der Untersuchungsgruppe in Runde 2.	282
H.29.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 1.	283
H.30.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 2.	283
H.31.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 3.	284
H.32.Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 4.	284

H.33. Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 1 der Runde 2.	285
H.34. Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 2 der Runde 2.	285
H.35. Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 3 der Runde 2.	286
H.36. Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 4 der Runde 2.	286
I.1. Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 1.	288
I.2. Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT der Kontrollgruppe in Runde 2.	288
I.3. Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT der Untersuchungsgruppe in Runde 1.	289
I.4. Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT der Untersuchungsgruppe in Runde 2.	289
I.5. Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 1.	290
I.6. Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 2.	290
I.7. Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 3.	291
I.8. Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 4.	291
I.9. Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 1 der Runde 2. . .	292
I.10. Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 2 der Runde 2 . . .	292
I.11. Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 3 der Runde 2 . . .	293
I.12. Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 4 der Runde 2 . . .	293
I.13. Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 1.	294
I.14. Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT der Kontrollgruppe in Runde 2.	294
I.15. Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT der Untersuchungsgruppe in Runde 1.	295
I.16. Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT der Untersuchungsgruppe in Runde 2.	295
I.17. Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 1.	296
I.18. Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 2.	296
I.19. Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 3.	297
I.20. Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 4.	297

I.21. Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 1 der Runde 2.	. 298
I.22. Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 2 der Runde 2.	. 298
I.23. Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 3 der Runde 2.	. 299
I.24. Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 4 der Runde 2.	. 299

*

Tabellenverzeichnis

3.1. Beispiel einer Warning Level Matrix eines Hot Spot.	21
4.1. Zusammenfassung der zu untersuchenden Hypothesen und Indikatoren	51
5.1. Während der Fahrten aufgezeichnete Signale.	57
6.1. Lage- und Streumaße, sowie Effektgrößen aus den Voruntersuchungen zur mittleren Geschwindigkeit, Anzahl und Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen. Zur Berechnung der Effektgröße vgl. Tabelle 7.1 auf Seite 75.	66
6.2. Eigenschaften der Abschnitte der Teststrecke.	72
7.1. Berechnungen der Effektgrößen r nach Art der Stichprobe und ihrer Verteilung. .	75
7.2. Cronbachs α für die Untersuchungen der Brauchbarkeit und Zufriedenstellung nach Van der Laan u. a. (1997) und der Gebrauchstauglichkeit nach Brooke (1996). 79	
7.3. Signifikanzen und Effekte der Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung für die Speed Limit Warning nach Van der Laan u. a. (1997). Mindestens signifikante Werte sind fett , Effekte nach Cohen (1988) in <i>klein</i> , mittel und groß differenziert.	81
7.4. Signifikanzen und Effekte der Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung für die Hot Spot Warning nach Van der Laan u. a. (1997). Mindestens signifikante Werte sind fett , Effekte nach Cohen (1988) in <i>klein</i> , mittel und groß differenziert.	85
7.5. Geschwindigkeiten in Runde 1 der Kontroll- und Untersuchungsgruppe (T-Test für unabhängige Stichproben).	91
7.6. Geschwindigkeiten der Kontrollgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für gepaarte Stichproben).	92
7.7. Geschwindigkeiten der Untersuchungsgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für gepaarte Stichproben).	93
7.8. Einfluss des DWS auf die Geschwindigkeitwahl der Probanden: Vergleich der Geschwindigkeiten zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in der zweiten Runde (T-Test für unabhängige Stichproben).	96

7.9. Lokale Geschwindigkeiten im Gültigkeitsbereich der Hot Spots in Runde 1 der Kontroll- und Untersuchungsgruppe im Vergleich (T-Test für unabhängige Stichproben).	98
7.10. Lokale Geschwindigkeiten im Gültigkeitsbereich der Hot Spots der Kontrollgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für gepaarte Stichproben).	98
7.11. Lokale Geschwindigkeiten im Gültigkeitsbereich der Hot Spots der Untersuchungsgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für gepaarte Stichproben).	98
7.12. Lokale Geschwindigkeiten im Gültigkeitsbereich der Hot Spots der Untersuchungsgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für unabhängige Stichproben).	98
7.13. Test auf gleiche Grundgesamtheit der Indikatoren der Geschwindigkeitsbeschränkungen (Vergleich zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 1, Tests für unabhängige Stichproben).	102
7.14. Test auf Einfluss des Experiments auf das Verhalten der Probanden (Ermüdung, Gewöhnung): Unterschiede zwischen Runde 1 und Runde 2 der Kontrollgruppe (Tests für abhängige Stichproben).	104
7.15. Unterschiede zwischen Runde 1 und Runde 2 der Untersuchungsgruppe (Tests für abhängige Stichproben).	106
7.16. Einfluss des DWS auf die Indikatoren der Geschwindigkeitsbeschränkungen (Vergleich zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2, Tests für unabhängige Stichproben).	109
7.17. Test auf gleiche Grundgesamtheit der Indikatoren des Peripheren Erkennens (Vergleich zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 1).	110
7.18. Test auf Einfluss des Experiments (Ermüdung, Gewöhnung) auf die Indikatoren des Peripheren Erkennens der Probanden: Unterschiede zwischen Runde 1 und Runde 2 der Kontrollgruppe).	112
7.19. Unterschiede der Indikatoren des Peripheren Erkennens zwischen Runde 1 und Runde 2 der Untersuchungsgruppe.	113
7.20. Einfluss des DWS auf die Indikatoren des Peripheren Erkennens (Vergleich zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2).	114
7.21. Lenkwinkelumkehr rate (Änderungen des Lenkwinkels pro Minute) der Kontrollgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für gepaarte Stichproben).	115
7.22. Lenkwinkelumkehr rate (Änderungen des Lenkwinkels pro Minute) der Untersuchungsgruppe in Runde 1 und Runde 2 im Vergleich (T-Test für gepaarte Stichproben).	117

7.23. Lenkwinkelumkehr rate in Runde 1 der Kontroll- und Untersuchungsgruppe (T-Test für unabhängige Stichproben).	118
7.24. Lenkwinkelumkehr rate in Runde 2 der Kontroll- und Untersuchungsgruppe (T-Test für unabhängige Stichproben).	118
7.25. Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung.	119
8.1. Forschungsfragen zum Driver Warning System.	123
8.2. Potenzielle Verringerung der Unfallzahlen durch das DWS anhand der von Nilsson (2004) aufgestellten Beziehungen zwischen Geschwindigkeit und Unfallzahlen.	134
8.3. Veränderung des Risikos für einen Unfall mit Personenschaden durch das DWS für ein einzelnes Fahrzeug anhand der von Kloeden u. a. (2001) gefundenen Beziehung zwischen mittlerer Geschwindigkeit auf einem Straßenabschnitt und der Geschwindigkeit eines einzelnen Fahrzeugs.	135
A.1. Datensatzbeschreibung der Unfalldaten in der Datenbank des PATBNI.	175
A.2. Variablen der SLW (Mittaz u. a., 2006).	179
A.3. Variablen der HSW (Mittaz u. a., 2006).	183
B.1. Lage aller Teilstrecken der Teststrecke.	193
B.2. Sinnvolle Kombinationen der Teilstrecken zu Teststrecken. Durch Kombination der einzelnen Teilstrecken in Tabelle B.1 auf Seite 193 lassen sich in sich geschlossene Teststrecken definieren. Die in einer ersten Befahrung der Teilstrecken ermittelte mittlere Reisegeschwindigkeit von etwa $40 \frac{km}{h}$ ergibt eine Ziellänge der Teststrecke von etwa $40 km$	194
B.3. Charakteristik der Teilstrecken hinsichtlich der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und der Hot Spots.	196
G.1. Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der mittleren Geschwindigkeiten von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in den Runden und Sektionen.	257
G.2. Vergleich der Geschwindigkeiten zwischen Runde 1 und Runde 2 der Kontrollgruppe.	258
G.3. Vergleich der Geschwindigkeiten zwischen Runde 1 und Runde 2 der Untersuchungsgruppe.	259
H.1. Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen pro km zwischen $6 \frac{km}{h}$ und $20 \frac{km}{h}$	267

H.2.	Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen pro km über $20 \frac{km}{h}$	267
H.3.	Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$	268
I.1.	Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der Reaktionszeiten beim Peripheren Erkennen.	287
I.2.	Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der Trefferquoten beim Peripheren Erkennen.	287
J.1.	Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der mittleren Lenkwinkelumkehraten von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in den Runden und Sektionen.	301

*

Anhang

A. Driver Warning System

A.1. Datensatzbeschreibung Unfalldaten

Tabelle A.1.: Datensatzbeschreibung der Unfalldaten in der Datenbank des PATBNI.

Nr.	Satzstellen		Inhalt, Bemerkungen
	von - bis	Anzahl	
1 - 3	1 - 8	8	Identifizier
4	9 - 14	6	amtlicher Gemeindeschlüssel (ohne Länderschlüssel)
4.1	9	1	- Regierungs-Bezirk
4.2	10 - 11	2	- Kreis
4.3	12 - 14	3	- Gemeinde, leer
5	15 - 20	6	Behördenkennung
6	21 - 26	6	Unfalldatum
6.1	21 - 22	2	- Tag
6.2	23 - 24	2	- Monat
6.3	25 - 26	2	- Jahr
7	27	1	Wochentag 1 = Sonntag 2 = Montag 3 = Dienstag 4 = Mittwoch 5 = Donnerstag 6 = Freitag 7 = Samstag
8	28 - 31	4	Unfallzeit, leer
8.1	28 - 29	2	- Stunde
8.2	30 - 31	2	- Minute

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tabelle A.1 — Fortsetzung von der vorigen Seite

9	32 - 33	2	Anzahl der Beteiligten
10	34 - 35	2	Anzahl der Getöteten, leer
11	36 - 37	2	Anzahl der Schwerverletzten, leer
12	38 - 39	2	Anzahl der Leichtverletzten, leer
13	40	1	Unfallart aus Unfallartenverzeichnis
Charakteristik der Unfallstelle			
			1 = Kreuzung
			2 = Einmündung
			3 = Grundstücksein-/ausfahrt
			4 = Steigung
			5 = Gefälle
			6 = Kurve
14	41	1	1. Kennziffer 1-6, leer
15	42	1	2. Kennziffer 2-6, leer
16	43	1	3. Kennziffer 3-6, leer
Besonderheiten der Unfallstelle			
			2 = Schienengleicher Wegübergang
			3 = Fußgängerüberweg (Zebrastreifen)
			4 = Fußgängerfurt
			5 = Haltestelle
			6 = Arbeitsstelle
			7 = Verkehrsberuhigter Bereich
17	44	1	1. Kennziffer 2-7, leer
18	45	1	2. Kennziffer 2-7, leer
19	46	1	3. Kennziffer 2-7, leer
20	47	1	Lichtzeichenanlage, leer
21	48	1	8 = Lichtzeichenanlage in Betrieb 9 = Lichtzeichenanlage außer Betrieb
22	49 - 51	3	Geschwindigkeitsbegrenzung 005, 010, 015, 020, 025, 030, 040, 050, 060, 070, 080, 090, 100, 110, 120, 130, Z07, Z20, Z30, leer
Fortsetzung auf der nächsten Seite			

Tabelle A.1 — Fortsetzung von der vorigen Seite

23	52	1	Lichtverhältnisse 0 = Tageslicht 1 = Dämmerung 2 = Dunkelheit
Straßenzustand			
			0 = trocken 1 = naß / feucht 2 = winterglatt 5 = Schlüpfrigkeit (Öl, Dung, Laub usw.)
26	55	1	1. Kennziffer 0-2, 5
27	56	1	2. Kennziffer 1, 2, 5, leer
29	58	1	Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn 0 = Baum 1 = Mast 2 = Widerlager 3 = Schutzplanke 4 = sonstiges Hindernis 5 = kein Aufprall
allgemeine vorläufig festgestellte Ursachen			
			aus Unfallursachenverzeichnis
32	61 - 62	2	1. Kennziffer 70-89, leer
33	63 - 64	2	2. Kennziffer 70-89, leer
34	65	1	Ortslage 1 = innerorts 2 = außerorts
35	66	1	Unfallkategorie aus Unfallkategorienverzeichnis
36	67	1	Unfalltyp aus Unfalltypenverzeichnis 1. Stelle
37	68 - 69	2	2.-3. Stelle für Unterteilung zum Unfalltyp, leer
<i>Fortsetzung auf der nächsten Seite</i>			

Tabelle A.1 — Fortsetzung von der vorigen Seite

38	70	1	Straßenklasse 1 = Autobahn 2 = Bundesstraße 3 = Landesstraße 4 = Kreisstraße 5 = Gemeinde- oder andere Straße
39	71 - 74	4	Straßennummer, leer
40	75	1	Buchstabe zur Straßennummer, leer
41	76 - 81	6	km-Angabe (3 Dezimalstellen), leer
42	82	1	Fahrtrichtung, leer 1 = aufsteigend 2 = absteigend
43	83 - 91	9	Straßenschlüssel, leer
44	92 - 95	4	Hausnummer, leer
45	96 - 102	7	von Netzknoten A, leer
46	103	1	Buchstabe zu Netzknoten A, leer
47	104 - 110	7	nach Netzknoten B, leer
48	111	1	Buchstabe zu Netzknoten B, leer
49	112 - 116	5	Station (km, m), leer

A.2. Algorithmen

A.2.1. Speed Limit Warning

Tabelle A.2.: Variablen der SLW (Mittaz u. a., 2006).

Variable	Name	Typ	Werte bereich	Einheit	Kommentar
PSL	Speed limit value of the last valid speed limit (with respect to environmental conditions) preceding the vehicle.	unsigned integer	0 to 255	km/h	0 no display 1..252 speed values 253 unknown speed limit 254 variable message sign 255 no speed restriction
NSL1	Speed limit value of the first valid speed limit (with respect to environmental conditions) in front of the vehicle.	unsigned integer	0 to 255	km/h	0 no display 1..252 speed values 253 unknown speed limit 254 variable message sign 255 no speed restriction
Dist_NSL1	Distance from the vehicle to the speed limit NSL1.	unsigned integer	0 to 65535	m	
NSL2	Speed limit value of the second valid speed limit (with respect to environmental conditions) in front of the vehicle.	unsigned integer	0 to 255	km/h	0 no display 1..252 speed values 253 unknown speed limit 254 variable message sign 255 no speed restriction
Dist_NSL1	Distance from the vehicle to the speed limit NSL1.	unsigned integer	0 to 65535	m	
DSL	Displayed Speed limit	unsigned integer	0 to 255	km/h	0 no display 1..252 speed values 253 unknown speed limit 254 variable message sign 255 no speed restriction
SLW_PD	Speed Limit Warning Preview Distance	unsigned integer	0..1000	m	
CDSL	Current Displayed Speed Limit	unsigned integer	0..255	km/h	0 no display 1..252 speed values 253 unknown speed limit 254 variable message sign 255 no speed restriction

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A. Driver Warning System

Tabelle A.2 — Fortsetzung von der vorigen Seite

AWS	acoustic warning status	boolean	T/F	-	true if an acoustic warning has already been provided for the current speed limit excess and the current limitation.
-----	-------------------------	---------	-----	---	--

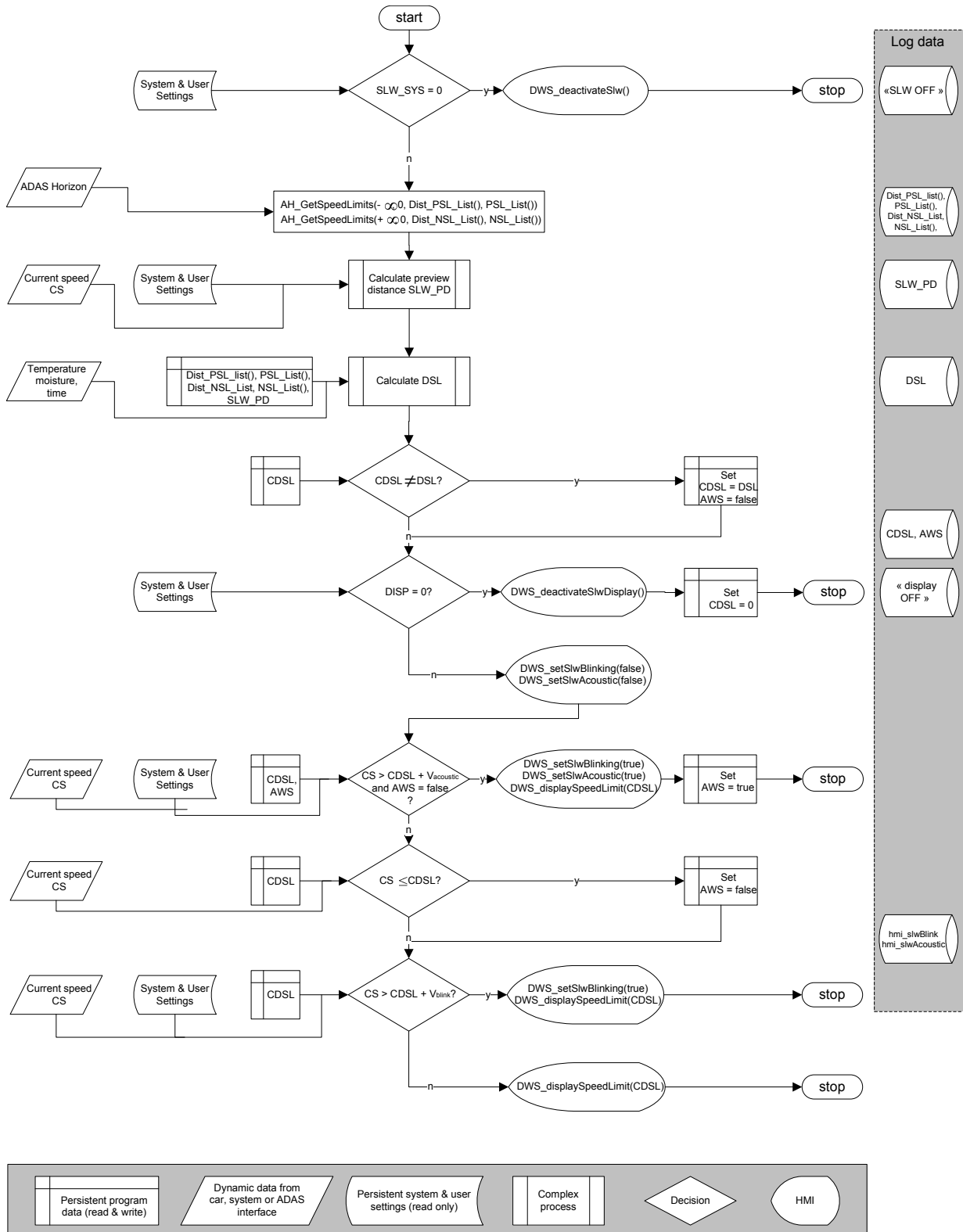


Abbildung A.1.: Ablaufdiagramm des Algorithmus des SLW (Mittaz u. a., 2006).

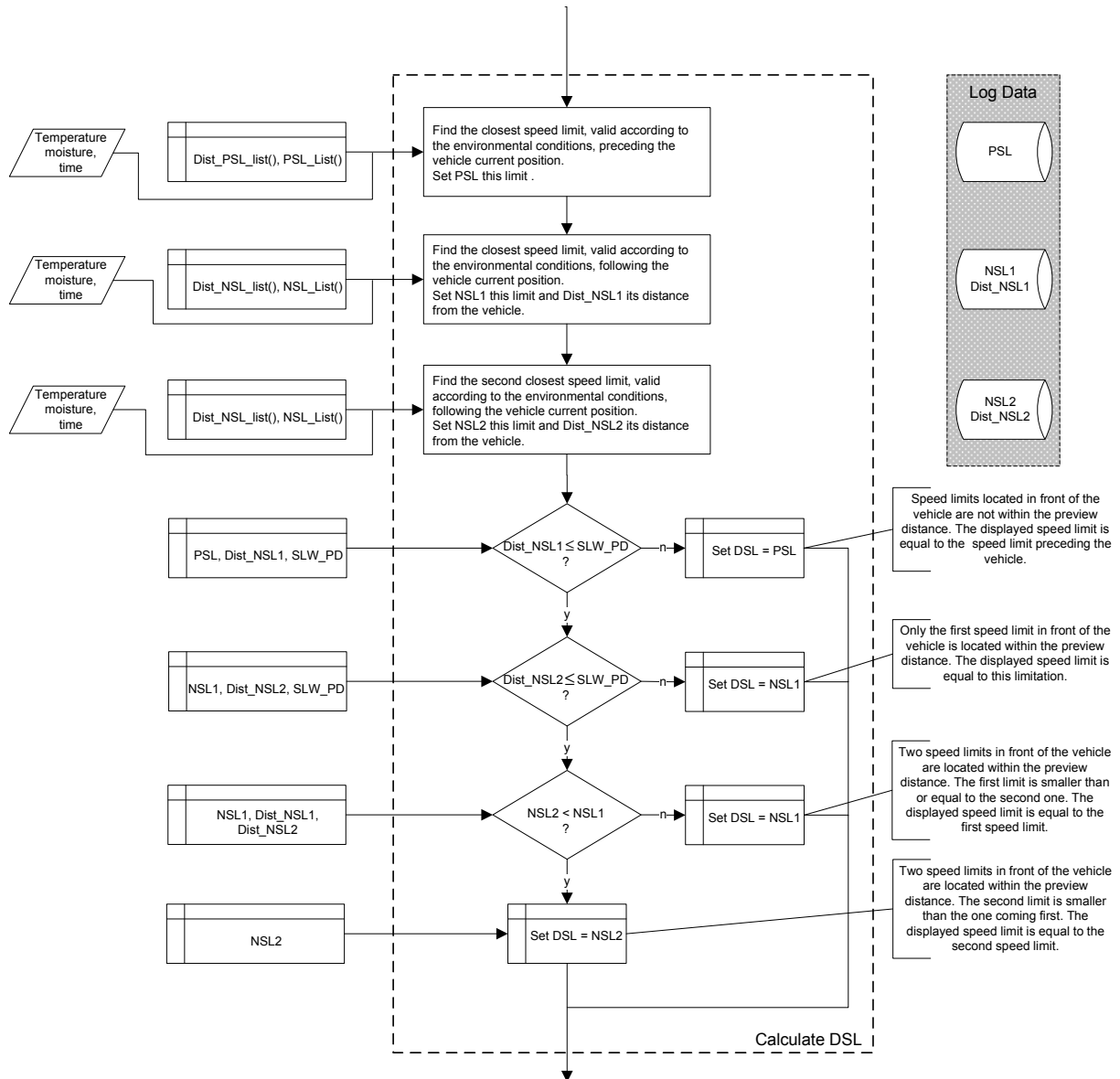


Abbildung A.2.: Ablaufdiagramm des Algorithmus des SLW, Berechnung des anzuzeigenden Speed Limits (Displayed Speed Limit, DSL)(Mittaz u. a., 2006).

A.2.2. Hot Spot Warning

Tabelle A.3.: Variablen der HSW (Mittaz u. a., 2006).

Variable	Name	Typ	Werte bereich	Einheit	Kommentar
CEC	Current Environmental Condition	unsigned integer	0 to 11	-	
PD	Preview Distance	unsigned integer	0 to 1000	m	
WS	Warning Speed	unsigned integer	0 to 255	km/h	
Dist	Distance	unsigned integer	0 to 65535	[m]	
HS	Hot Spot	AH_HOTSPOT			AH_HOTSPOT is a complex type containing the fields: - iCat (AH_UINT8): category index according to category list[] - iWLM (AH_UINT8): warning level matrix (WLM) index according to WLM list[] - Length (AH_UINT16): length of Hot Spot [m] - Sev (AH_UINT8): Hot Spot severity
HS_List()	Hot Spot List	AH_HOTSPOTLIST			AH_HOTSPOTLIST is a complex type containing the fields: - range (AH_INT32) all Hot Spots within this range are returned in the Hot Spot list[m] - num_hotspot (AH_UINT16): number of hot spots in the list
NestHs	Nest Hot Spot	AH_HOTSPOT			AH_HOTSPOT is a complex type containing the fields: - iCat (AH_UINT8): category index according to category list[] - iWLM (AH_UINT8): warning level matrix (WLM) index according to WLM list[] - Length (AH_UINT16): length of Hot Spot [m] - Sev (AH_UINT8): Hot Spot severity

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tabelle A.3 — Fortsetzung von der vorigen Seite					
WL	Warning Level	Le-vel	unsigned integer	0 to 15	
Next WL	Next Warning Level	Next Warning Level	unsigned integer	0 to 15	
ClearDisplayClear Indicator	Clear Display Indicator	Clear Display Indicator	boolean: true means the HSW display should be cleared	T/F	-
CDC	Current Display Category	Dis-play Category	unsigned integer	0 to 255	-
	nautical dawn	nautical dawn	time		will be calculated once an hour to enable evaluation of current lighting conditions
	sunrise	sunrise	time		
	sunset	sunset	time		
	nautical dusk	nautical dusk	time		

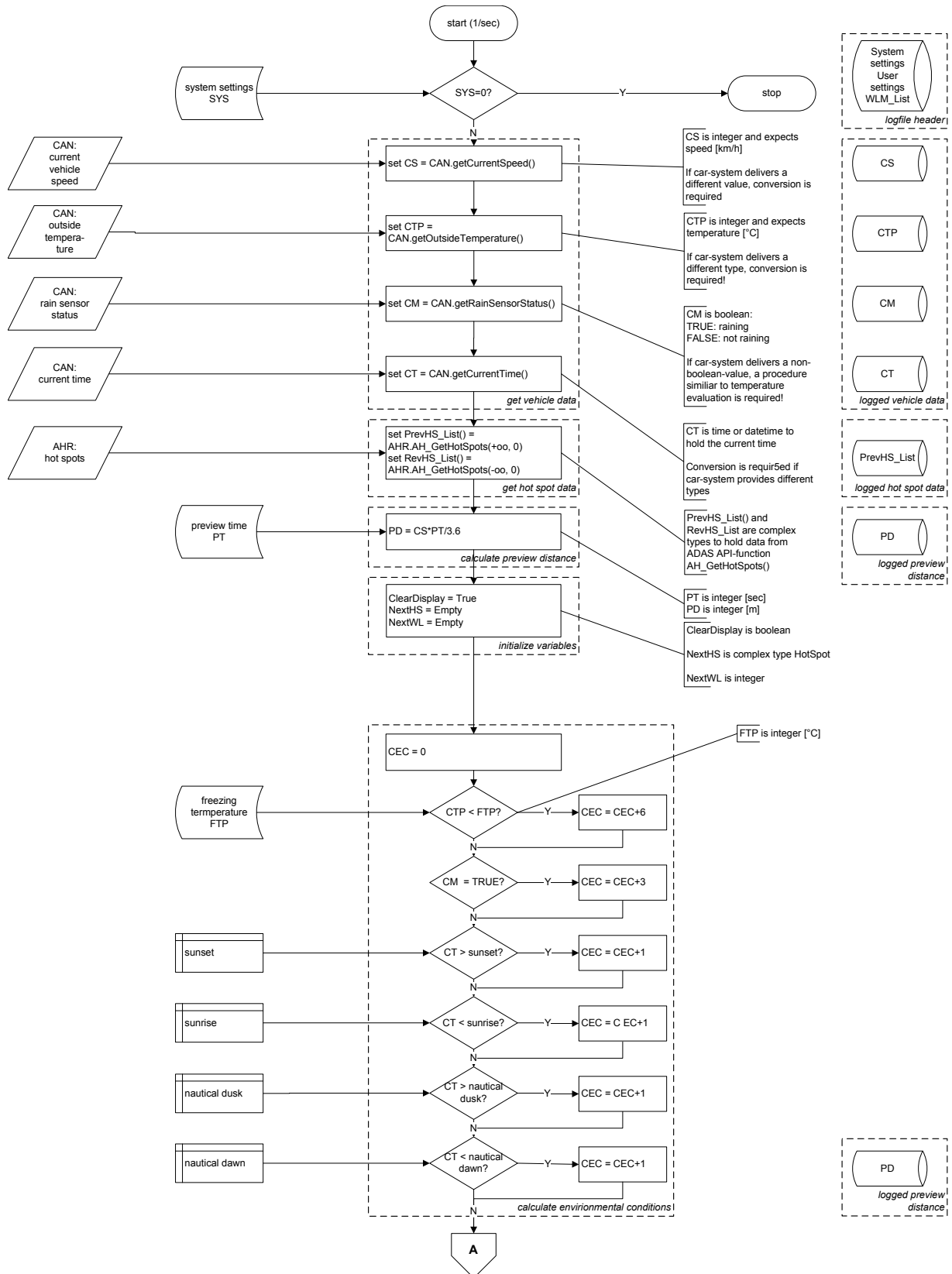


Abbildung A.3.: Ablaufdiagramm des Algorithmus der HSW (1) (Mittaz u. a., 2006).

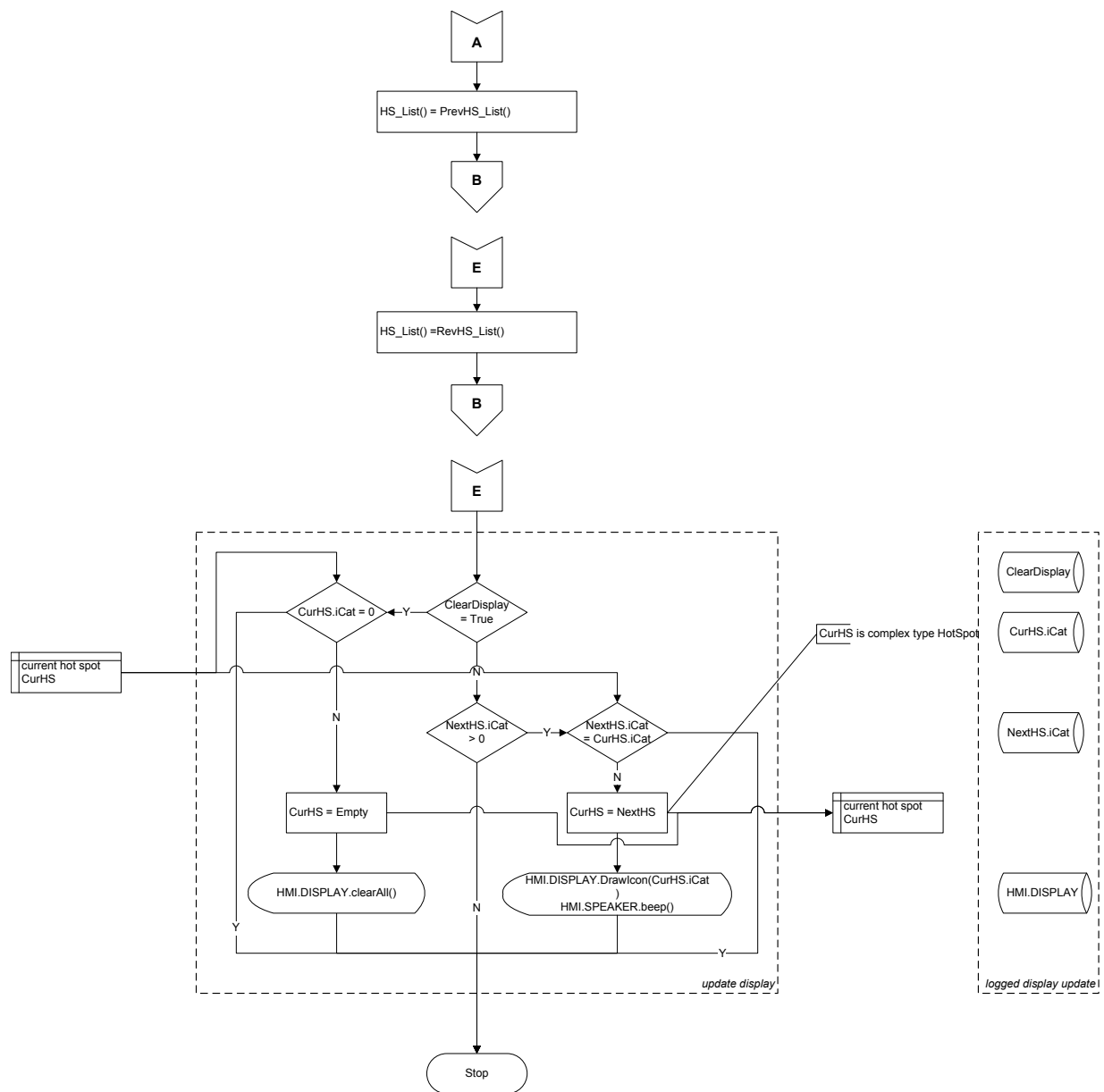


Abbildung A.4.: Ablaufdiagramm des Algorithmus der HSW (2) (Mittaz u. a., 2006).



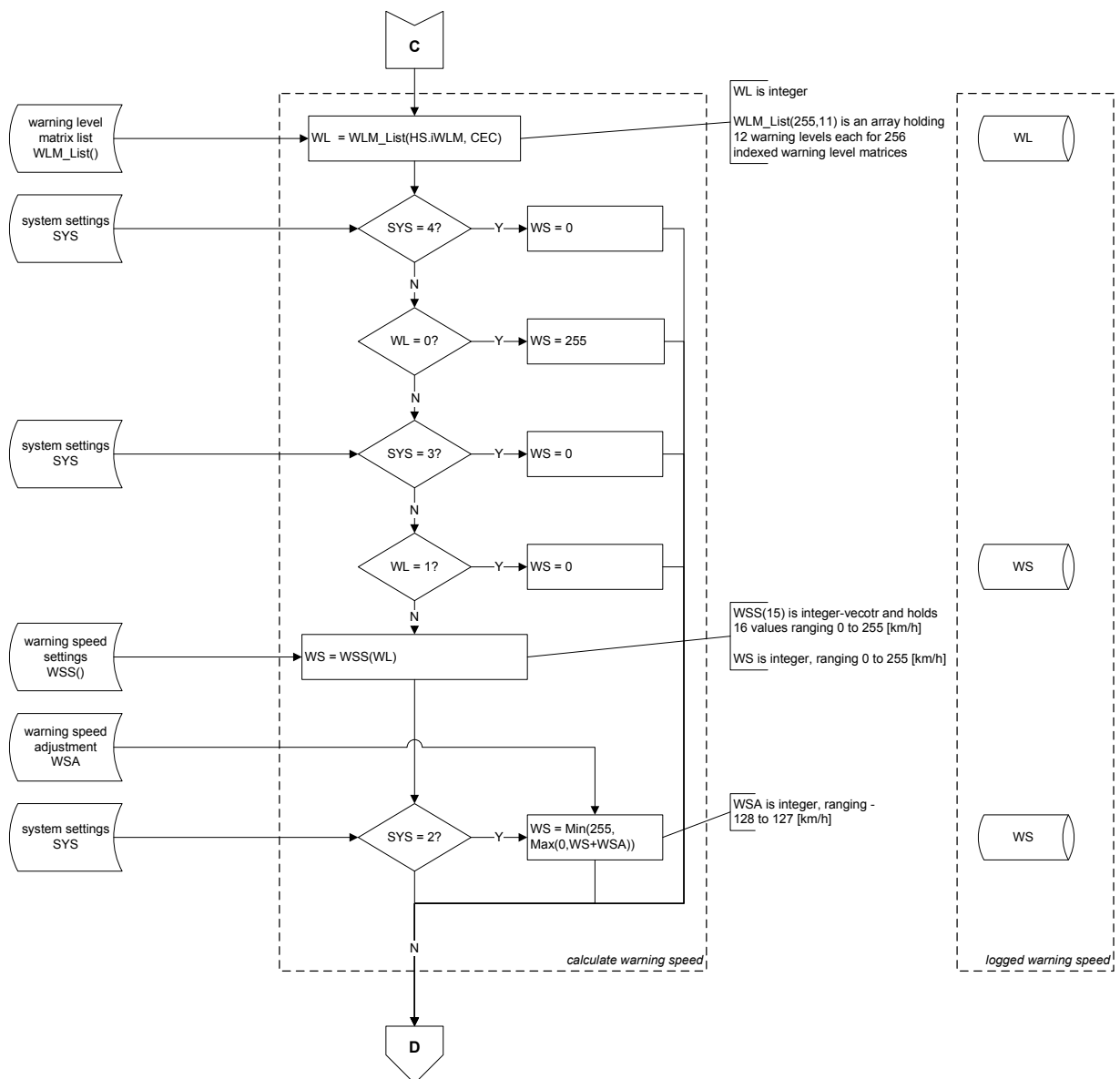


Abbildung A.6.: Ablaufdiagramm des Algorithmus der HSW (4) (Mittaz u. a., 2006).

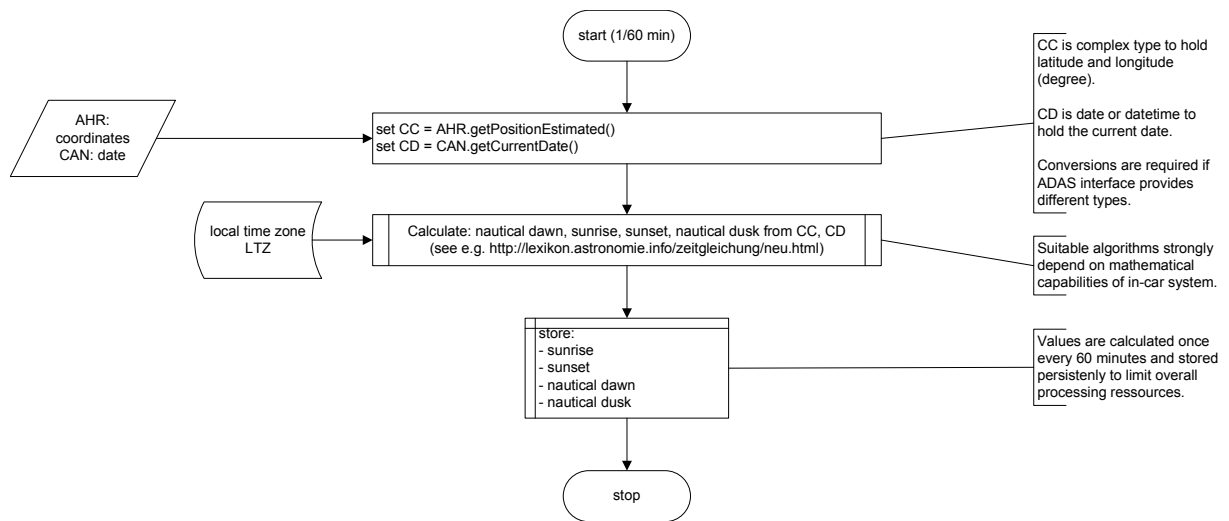


Abbildung A.7.: Ablaufdiagramm des Algorithmus der HSW (5) (Mittaz u. a., 2006).

B. Teststrecke

B.1. Lage und Eigenschaften der Teilstrecken

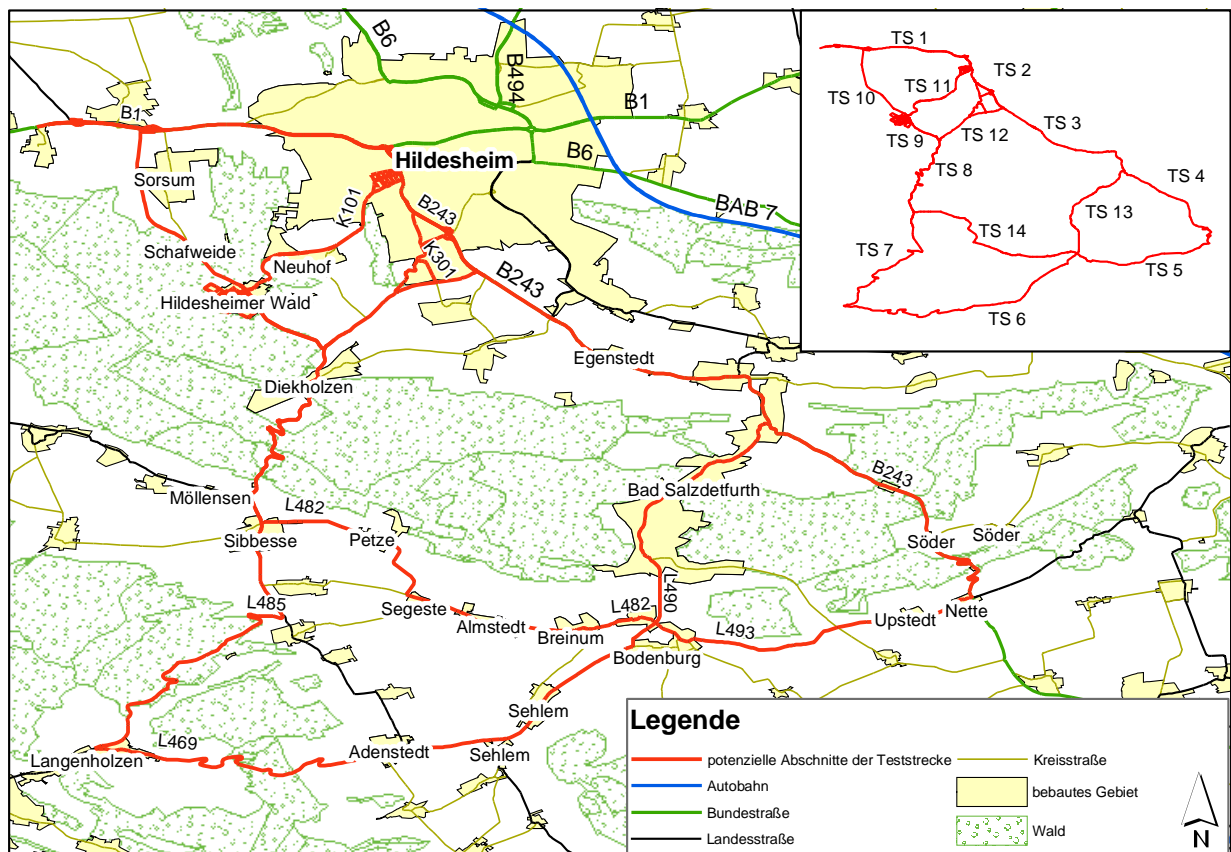


Abbildung B.1.: Die für die abschließende Auswahl in Betracht kommenden Abschnitte TS 1 bis TS 14 der Teststrecke.

B. Teststrecke

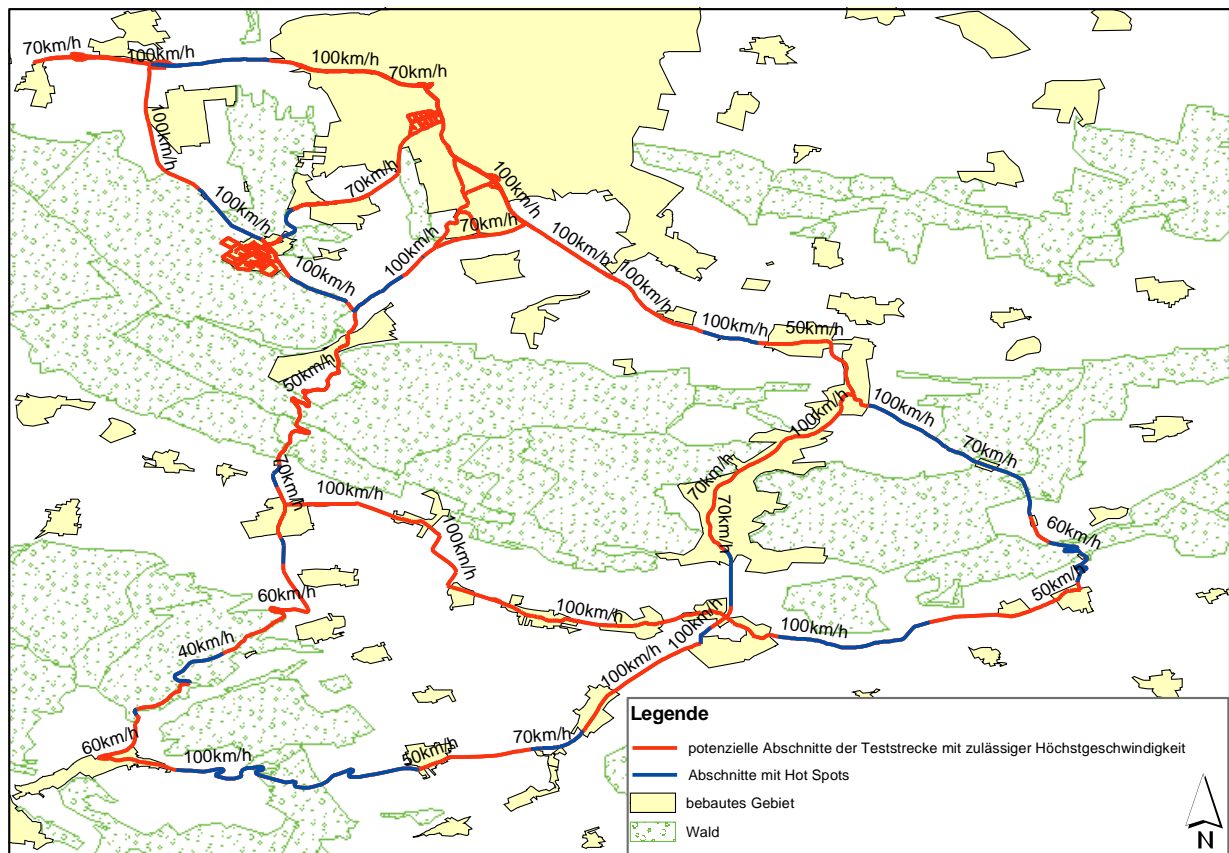
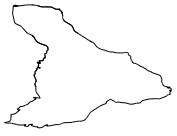









Abbildung B.2.: Die für die abschließende Auswahl in Betracht kommenden Abschnitte der Teststrecke mit Angaben zu den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und den identifizierten Hot Spots.

Tabelle B.1.: Lage aller Teilstrecken der Teststrecke.

Teilstrecke	Lage
TS 1	B 1 / B 243 zwischen KP B 1 / L 460 und KP B 243 / Steinbergstraße in Hildesheim
TS 2	B 243 zwischen KP B 243 / Steinbergstraße und KP B 243 / L 485
TS 3	B 243 zwischen KP B 243 / L 485 und KP B 243 / L 490 in Wesseln
TS 4	B 243 zwischen KP B 243 / L 490 und KP B 243 / L 493 in Nette
TS 5	L 493 zwischen KP B 243 / L 493 und KP L 490 / L 493 in Bodenburg
TS 6	L 490 / L 89 / L 469 zwischen KP L 490 / L 493 und KP L 469 / L 485 in Langenholzen/ Sack
TS 7	L 485 zwischen KP L 485 und KP L 485 / L 482 in Sibbesse
TS 8	L 482 / L 485 zwischen KP L 485 / L 482 und KP L 460 / L 485 nördlich von Diekholzen
TS 9	L 460 zwischen KP L 460 / L 485 und KP L 460 / Robert-Bosch-Straße
TS 10	L 460 zwischen KP L 460 / Robert-Bosch-Straße und KP B 1 / L 460
TS 11	Steinbergstraße / Robert-Bosch-Straße zwischen B 243 und L 460
TS 12	L 485 zwischen B 243 und L 460 nördlich von Diekholzen
TS 13	L 490 zwischen Wesseln und Östrum
TS 14	L 482 zwischen Sibbesse und Östrum

Tabelle B.2.: Sinnvolle Kombinationen der Teilstrecken zu Teststrecken. Durch Kombination der einzelnen Teilstrecken in Tabelle B.1 auf der vorherigen Seite lassen sich in sich geschlossene Teststrecken definieren. Die in einer ersten Befahrung der Teilstrecken ermittelte mittlere Reisegeschwindigkeit von etwa $40 \frac{km}{h}$ ergibt eine Ziellänge der Teststrecke von etwa 40 km.

Teststrecke	Schema	Teilstrecken	Länge $\frac{km}{h}$
1		1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	66,0
2		1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 13	59,4
3		1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 14	52,9
4		1, 2, 3, 8, 9, 10, 13, 14	45,9
5		2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11	60,0
6		2, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 13	53,1
7		2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 14	46,7
8		2, 3, 8, 9, 11, 13, 14	42,3
<i>Fortsetzung auf der nächsten Seite</i>			

B.1. Lage und Eigenschaften der Teilstrecken





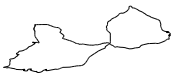
9		3, 4, 5, 6, 7, 8, 12	53,6
10		3, 6, 7, 8, 12, 13	46,9
11		3, 4, 5, 8, 12, 14	40,5
12		3, 8, 12, 13, 14	33,5
13		4, 5, 6, 7, 13, 14	52,1

Tabelle B.3.: Charakteristik der Teilstrecken hinsichtlich der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und der Hot Spots.

Teil- strecke	Länge km	Anteil zul. Höchstgeschwindigkeiten					Anzahl Geschwin- digkeitsänderungen	Länge der Hot Spots km
		$30 \frac{km}{h}$	$50 \frac{km}{h}$	$60 \frac{km}{h}$	$70 \frac{km}{h}$	$100 \frac{km}{h}$		
		%						
1	5,2	0	19	0	40	40	5	1,3
2	3,0	0	40	0	10	50	2	0
3	7,5	0	16	0	13	71	8	0,5
4	7,5	2,7	5	0	43	48	6	3,5
5	6,4	0	31	0	0	69	4	0,3
6	13,2	0	23	0	5	72	11	1,1
7	9,2	0	9	71	7	13	5	4,6
8	6,6	0	12	68	12	8	5	2,3
9	2,3	0	22	0	0	78	1	1,2
10	5,1	0	0	0	23	77	6	1,6
11	4,8	0	56	0	44	0	2	0,6
12	3,6	0	3	0	55	42	3	1,4
13	6,8	0	34	0	42	24	8	0,6
14	9,0	0	51	0	0	49	10	0

C. Probanden

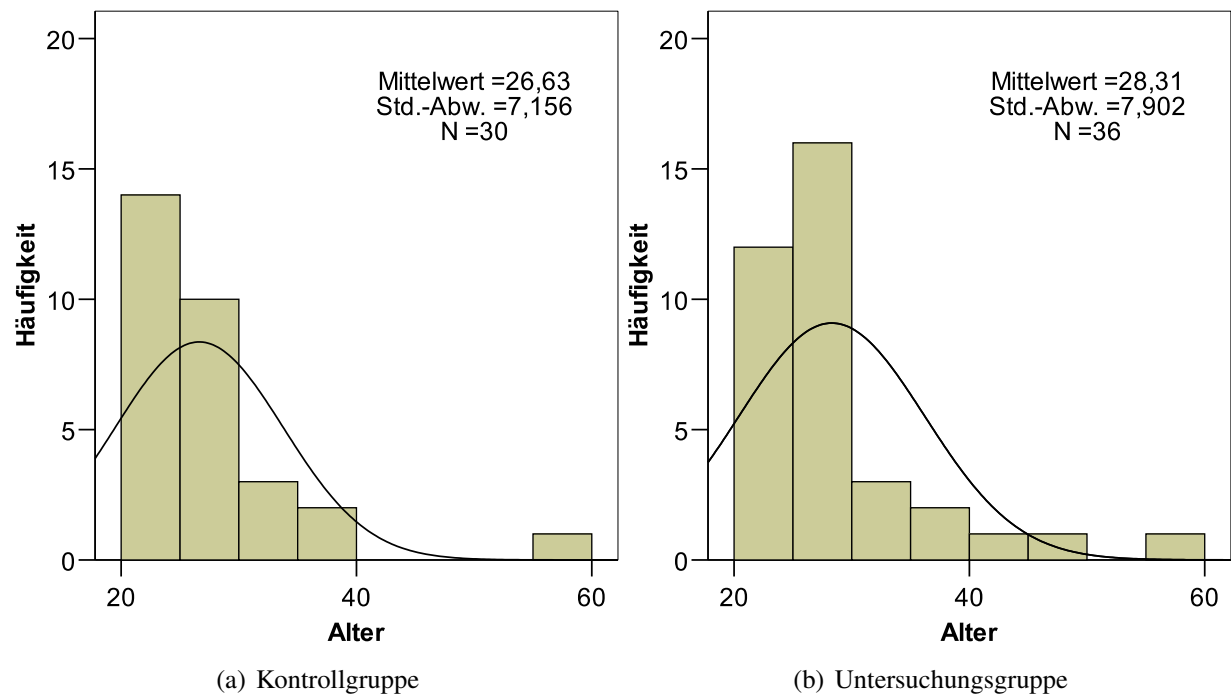


Abbildung C.1.: Alterstruktur der Probanden

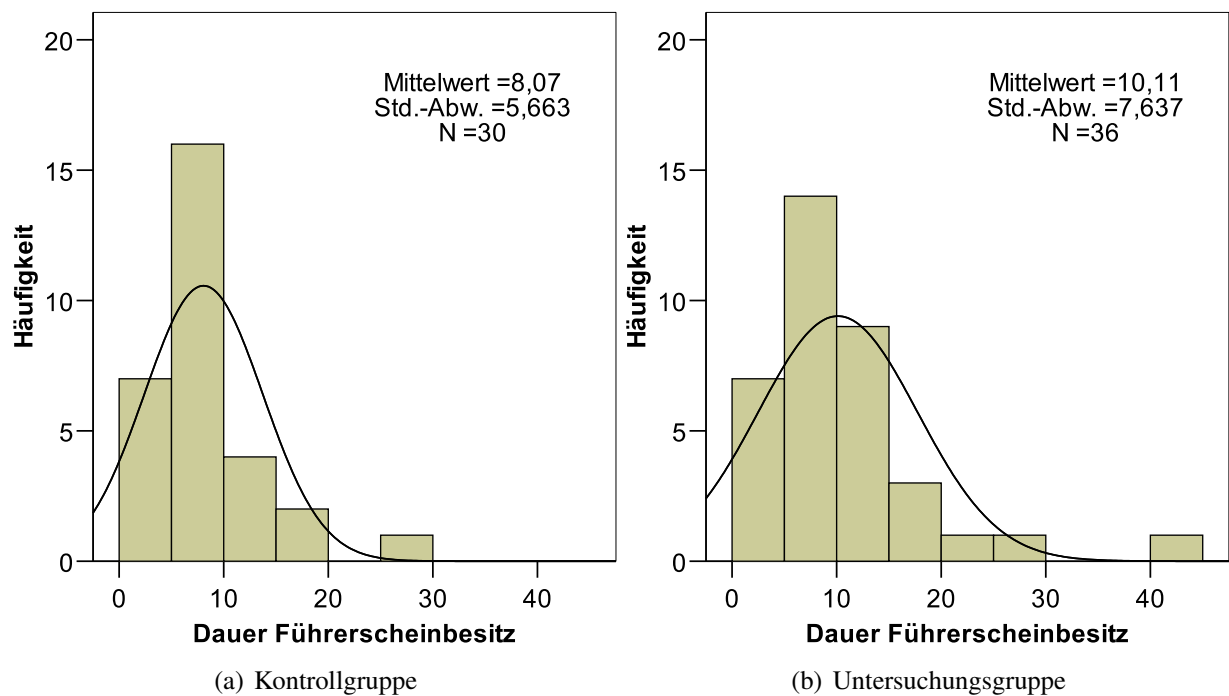


Abbildung C.2.: Dauer des Führerscheinbesitzes der Probanden

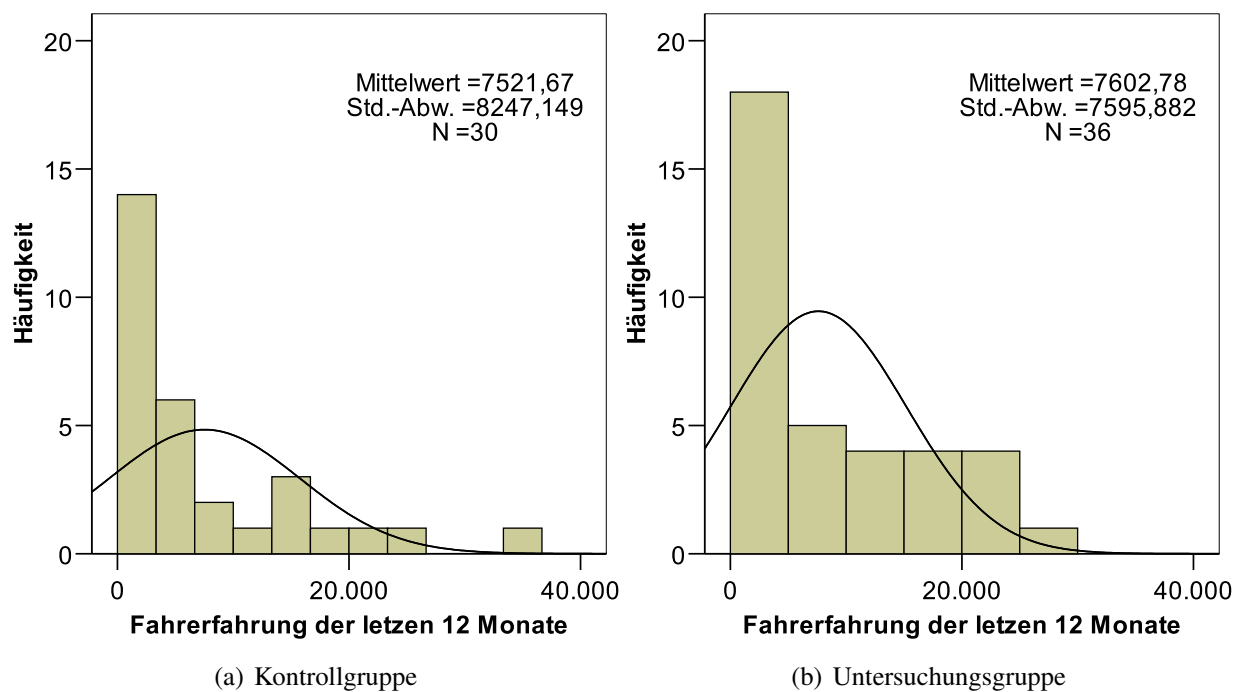


Abbildung C.3.: Fahrerfahrung der letzten zwölf Monate der Probanden

D. Verwendete Fragebogen

D.1. Erhebung biographischer Daten

Proband Nr.
(Einzutragen vom Versuchsleiter)

Seite 1



Persönliche Daten

Nationalität: _____

Alter: _____

Geschlecht: _____

Beruf: _____

- Ausbildung: ☐ keine
☐ Mittlere Reife
☐ Abitur
☐ Hochschulabschluss (FH/ TU/ Uni)/ Promotion

Kontoverbindung: Inhaber: _____

Kto-Nummer: _____

Bank: _____

Bankleitzahl: _____

Haben Sie eine Sehbehinderung?

- ☐ nein
☐ ja,
 - Brille/ Kontaktlinsen
 - Farbenblind
 - reduzierte Sehleistung in Dämmerung und Dunkelheit
 - andere: _____

Proband Nr.

Seite 2

(Einzutragen vom Versuchsleiter)



Sind Sie gesundheitlich in der Lage, ein Kraftfahrzeug zu führen?

- ☐ Ja
☐ nein

Wie lange besitzen Sie Ihre Fahrerlaubnis?

_____ Jahre

Welche Klasse an Fahrerlaubnis besitzen Sie?

Klasse _____

Wie viele km sind Sie in den vergangenen zwölf Monaten etwa gefahren?

_____ km

Welche Art von Auto besitzen Sie, bzw. fahren Sie regelmäßig

- ☐ ich besitze kein Auto
☐ ich besitze ein Auto

Ich besitze/ fahre regelmäßig

- City Car (z. B. Peugeot 107, Smart fortwo, Daihatsu Cuore, Citroen C1)
- Kleinwagen (z. B. Peugeot 205, Fiat Panda, Ford Ka, VW Fox, Citroën C2, Toyota Yaris, Mini, Nissan Micra, Daihatsu Sirion, VW Polo, Opel Corsa, Fiat Punto, Ford Fiesta, Skoda Fabia, Seat Ibiza, Citroën C3, Renault Clio, Mitsubishi Colt)
- Kompaktklasse (z. B. VW Golf /Jetta, BMW 1er, Audi A3, Mercedes-Benz A-Klasse, Opel Astra, Mazda3, Renault Megane, Fiat Stilo, Ford Focus, Toyota Corolla, Citroën C4, Mitsubishi Lancer, Mazda3, Volvo S40)

Proband Nr.

Seite 3

(Einzutragen vom Versuchsleiter)



- **Mittelklasse** (z. B. Audi A4, BMW 3er, Mitsubishi Galant, Mercedes-Benz C-Klasse, VW Passat, Opel Vectra, Ford Mondeo, Peugeot 407, Citroën C5, Toyota Avensis, Jaguar X-Type, Renault Laguna, Volvo S60, Lexus IS)
- **Obere Mittelklasse** (z. B. Mercedes E-Klasse, BMW 5er, Audi A6, Jaguar S-Type, Citroën C6, Peugeot 607, Opel Omega, Volvo S80, Lexus GS)
- **Oberklasse** (z. B. Mercedes S-Klasse, BMW 7er, Audi A8, VW Phaeton, Jaguar XJ, Porsche Panamera, Maserati Quattroporte, Lexus LS)
- **Kompaktvan** (z. B. VW Touran, Opel Zafira, Seat Altea, Renault Scénic, Citroën Xsara Picasso, Mercedes B-Klasse)
- **Van/ Kleinbus** (z. B. VW Bus, Mercedes-Benz Viano, Ford Transit, Citroën Jumpy, Citroën Jumper, Chrysler Voyager, Opel Sintra, Renault Espace, Peugeot 807, Citroën C8, VW Sharan, Ford Galaxy, Seat Alhambra)
- **SUV/ Geländewagen** (z. B. Mercedes-Benz G-Klasse, Jeep, Jeep Cherokee/Grand Cherokee, Land Rover Defender/Discovery, Chevrolet Tahoe / Suburban, Hummer H1, Mitsubishi Pajero, Porsche Cayenne, Mercedes Benz M-Klasse, VW Touareg, Chevrolet TrailBlazer, Hummer H2, BMW X3, BMW X5, Audi Q7)

Hannover, den _____, _____

Unterschrift Proband

D.2. Erhebungen vor Antritt der Fahrt

Proband Nr.

Seite 4

(Einzutragen vom Versuchsleiter)



**Haben Sie Erfahrungen mit Fahrerassistenzsystemen oder
Fahrerinformationssystemen, z. B. Navigationssysteme, Tempomat,
o. ä.?**

☐ Nein

☐ Ja

Falls ja, bitte beantworten Sie die folgenden Fragen:

Wie häufig nutzen Sie solche Systeme/ haben Sie solche
Systeme genutzt?

- ☐ Bei jeder Fahrt
- ☐ Regelmäßig
- ☐ Selten
- ☐ Einmal

Bitte beschreiben Sie ganz kurz, welcher Art das System ist:

Proband Nr.

Seite 5

(Einzutragen vom Versuchsleiter)



Stellen Sie sich vor, Sie haben ein System, das Sie während der Fahrt informiert, wie hoch die derzeit **zulässige Höchstgeschwindigkeit** ist und Sie warnt, wenn Sie diese Grenze wesentlich überschreiten (z. B. wenn Sie ein Verwarnungsgeld bezahlen müssten). Wie würden Sie ein solches System beurteilen? Lesen Sie hierfür aufmerksam jedes Wortpaar und machen Sie jeweils ein Kreuz pro Zeile.

Nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nutzlos
Angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unangenehm
Schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gut
Nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nervig
Effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnötig
Ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Erfreulich
Hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wertlos
Nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wünschenswert
Aktivierend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Einschläfernd

Proband Nr.

Seite 6

(Einzutragen vom Versuchsleiter)



Stellen Sie sich vor, Sie haben ein System, das Sie während der Fahrt warnt, wenn Sie sich einer **gefährlichen Stelle** nähern, z. B. einer gefährlichen Kurve, oder einer gefährlichen Kreuzung, an denen in der Vergangenheit häufig Unfälle passiert sind. Wie würden Sie ein solches System beurteilen? Lesen Sie hierfür aufmerksam jedes Wortpaar und machen Sie jeweils ein Kreuz pro Zeile.

Nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nutzlos
Angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unangenehm
Schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gut
Nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nervig
Effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnötig
Ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Erfreulich
Hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wertlos
Nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wünschenswert
Aktivierend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Einschläfernd

D.3. Erhebungen nach Fahrt mit Driver Warning System

Proband Nr.

Seite 7

(Einzutragen vom Versuchsleiter)



Sie hatten nun Gelegenheit, die im Testfahrzeug eingebauten Systeme zu testen.

Wie beurteilen Sie das System, das Sie über die **zulässige Höchstgeschwindigkeit** informiert hat? Lesen Sie hierfür aufmerksam jedes Wortpaar und machen Sie jeweils ein Kreuz pro Zeile.

Nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nutzlos
Angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unangenehm
Schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gut
Nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nervig
Effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnötig
Ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Erfreulich
Hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wertlos
Nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wünschenswert
Aktivierend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Einschläfernd

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen:

1. Ich denke, dass ich den *Geschwindigkeitswarner* gerne regelmäßig nutzen würde.

Stimmt überhaupt nicht		Stimmt völlig		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Ich habe den *Geschwindigkeitswarner* als unnötig kompliziert empfunden.

Stimmt überhaupt nicht		Stimmt völlig		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Proband Nr.

Seite 8

(Einzutragen vom Versuchsleiter)



3. Ich fand den *Geschwindigkeitswarner* einfach zu bedienen.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

4. Ich denke, dass ich die Unterstützung eines Fachmanns benötige, um den *Geschwindigkeitswarner* zu nutzen.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

5. Ich finde, dass die Funktion gut eingebunden ist.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

6. Ich denke, es gibt zu viele Unstimmigkeiten im *Geschwindigkeitswarner*.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

7. Ich glaube, dass die meisten Menschen die Nutzung des *Geschwindigkeitswarners* schnell erlernen können.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

8. Ich habe die Bedienung des *Geschwindigkeitswarners* als sehr umständlich empfunden.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

Proband Nr.

Seite 9

(Einzutragen vom Versuchsleiter)



9. Ich hatte das Gefühl, mit dem *Geschwindigkeitswarner* sehr sicher umgehen zu können.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

10. Ich musste viel lernen, bevor ich mit dem *Geschwindigkeitswarner* gut umgehen konnte.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

Wie beurteilen Sie das System, das Sie über die **gefährlichen Stellen** im Straßennetz informiert hat? Lesen Sie hierfür aufmerksam jedes Wortpaar und machen Sie jeweils ein Kreuz pro Zeile.

Nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nutzlos
Angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unangenehm
Schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gut
Nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nervig
Effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unnötig
Ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Erfreulich
Hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wertlos
Nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wünschenswert
Aktivierend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Einschläfernd

Proband Nr.

Seite 10

(Einzutragen vom Versuchsleiter)



Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen:

1. Ich denke, dass ich den *Gefahrenwarner* gerne regelmäßig nutzen würde.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

2. Ich habe den *Gefahrenwarner* als unnötig kompliziert empfunden.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

3. Ich fand den *Gefahrenwarner* einfach zu bedienen.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

4. Ich denke, dass ich die Unterstützung eines Fachmanns benötige, um den *Gefahrenwarner* zu nutzen.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

5. Ich finde, dass die Funktion gut eingebunden ist.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

6. Ich denke, es gibt zu viele Unstimmigkeiten im *Gefahrenwarner*.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--



Proband Nr.

Seite 11

(Einzutragen vom Versuchsleiter)



7. Ich glaube, dass die meisten Menschen die Nutzung des *Gefahrenwarners* schnell erlernen können.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

8. Ich habe die Bedienung des *Gefahrenwarners* als sehr umständlich empfunden.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

9. Ich hatte das Gefühl, mit dem *Gefahrenwarner* sehr sicher umgehen zu können.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

10. Ich musste viel lernen, bevor ich mit dem *Gefahrenwarner* gut umgehen konnte.

Stimmt überhaupt
nicht

Stimmt völlig

--	--	--	--	--

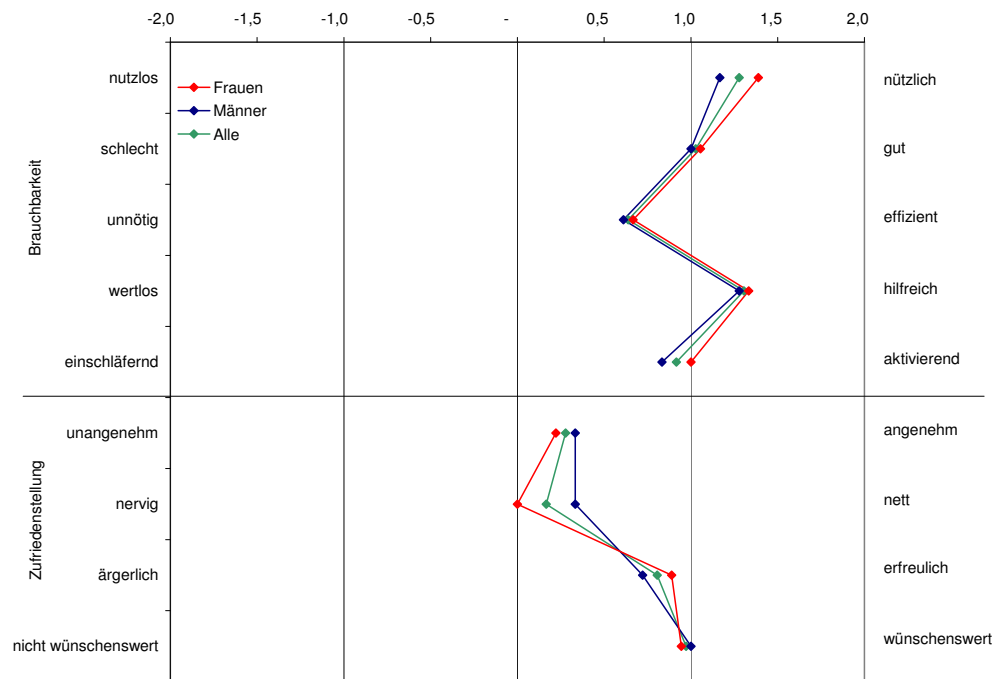
Haben Sie noch Anmerkungen zu den getesteten Systemen?

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

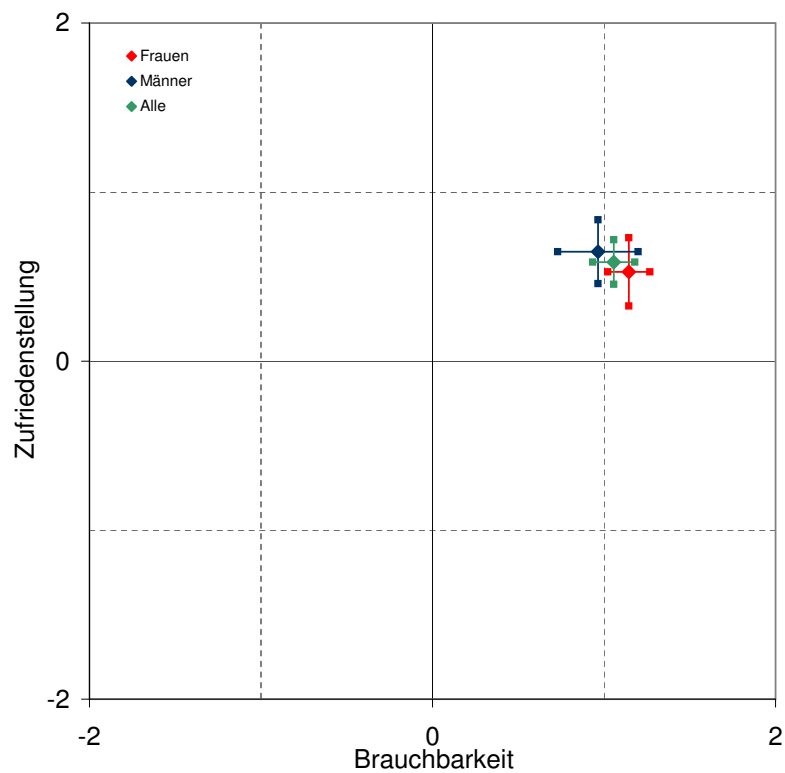
E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

E.1. Speed Limit Warning

E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

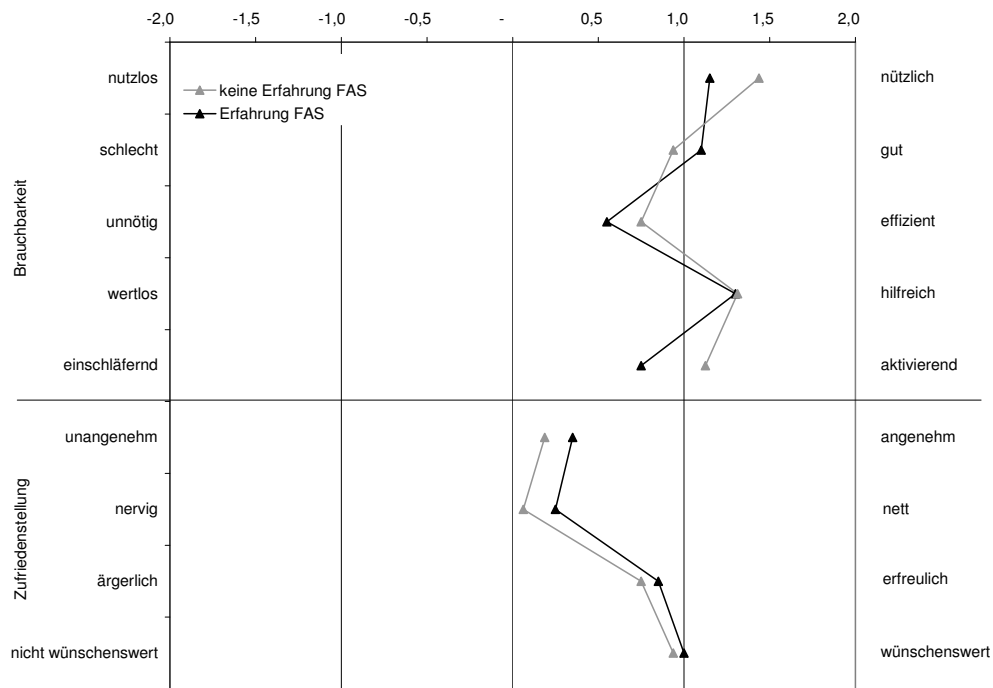


(a) Einzelfragen

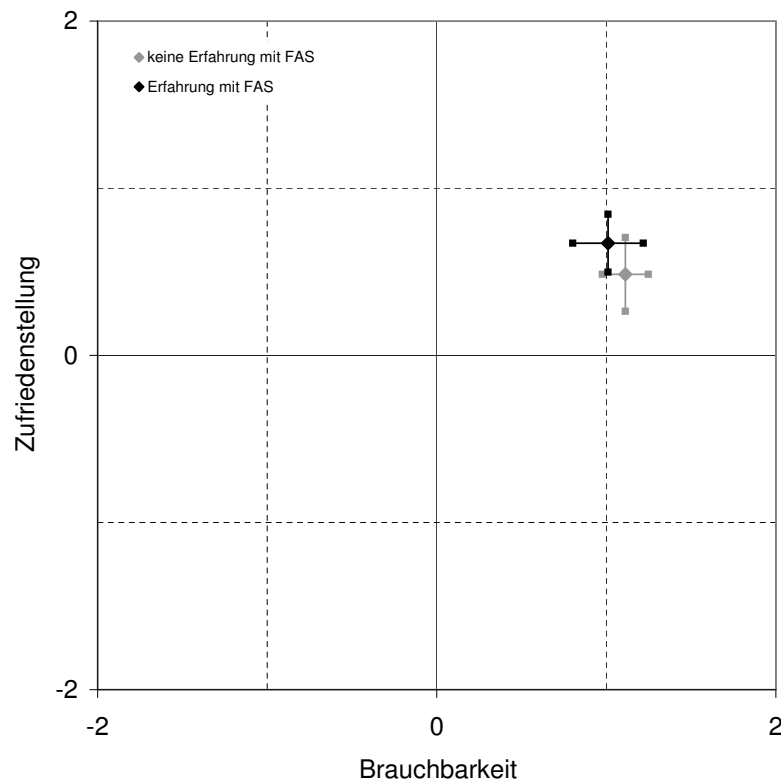


(b) Konstrukte

Abbildung E.1.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.



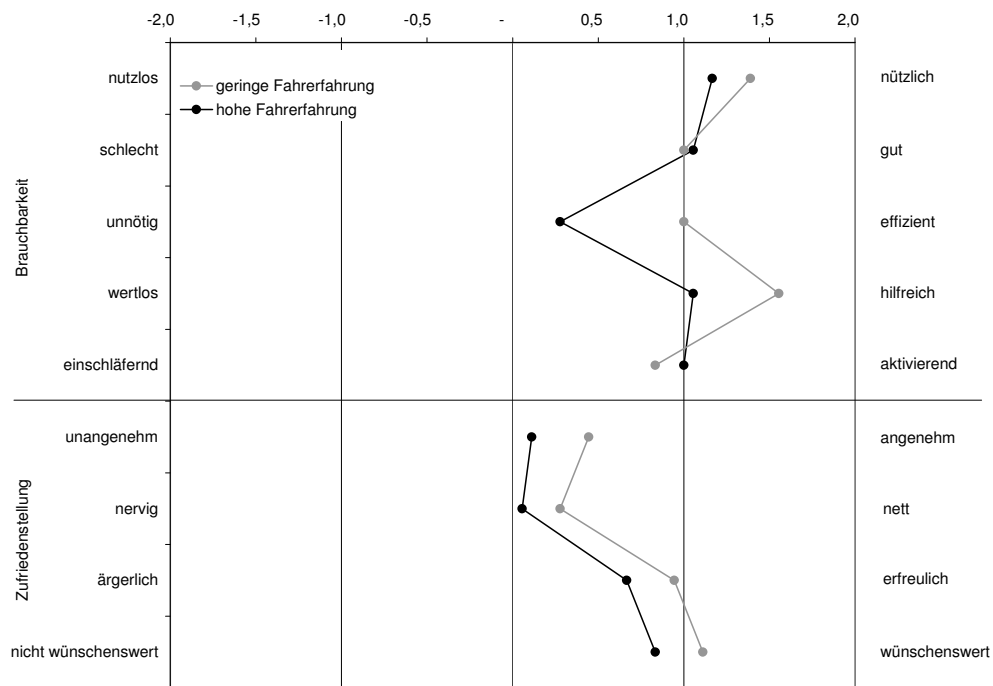
(a) Einzelfragen



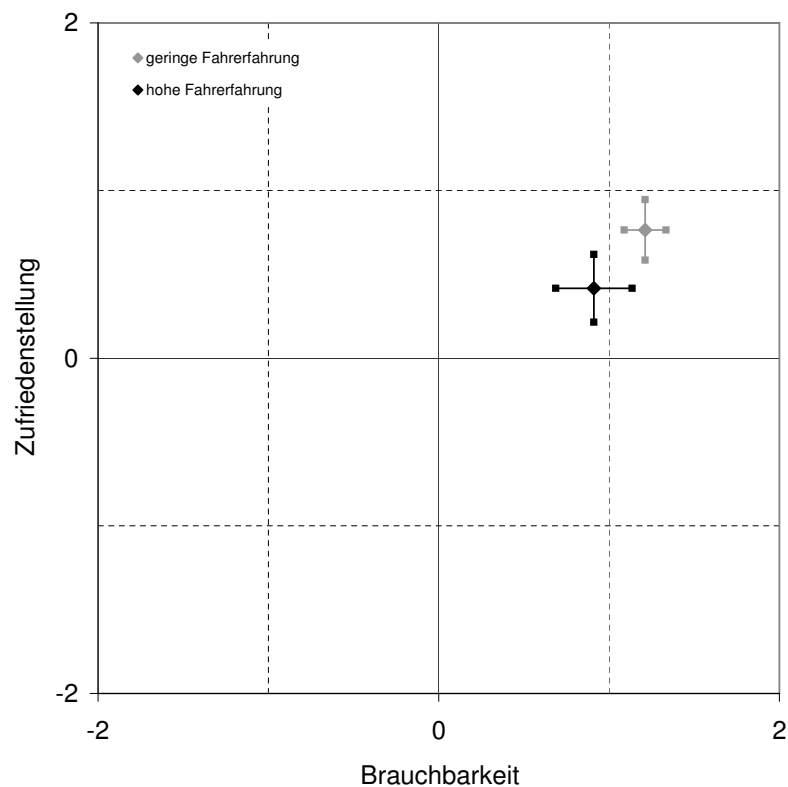
(b) Konstrukte

Abbildung E.2.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.

E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

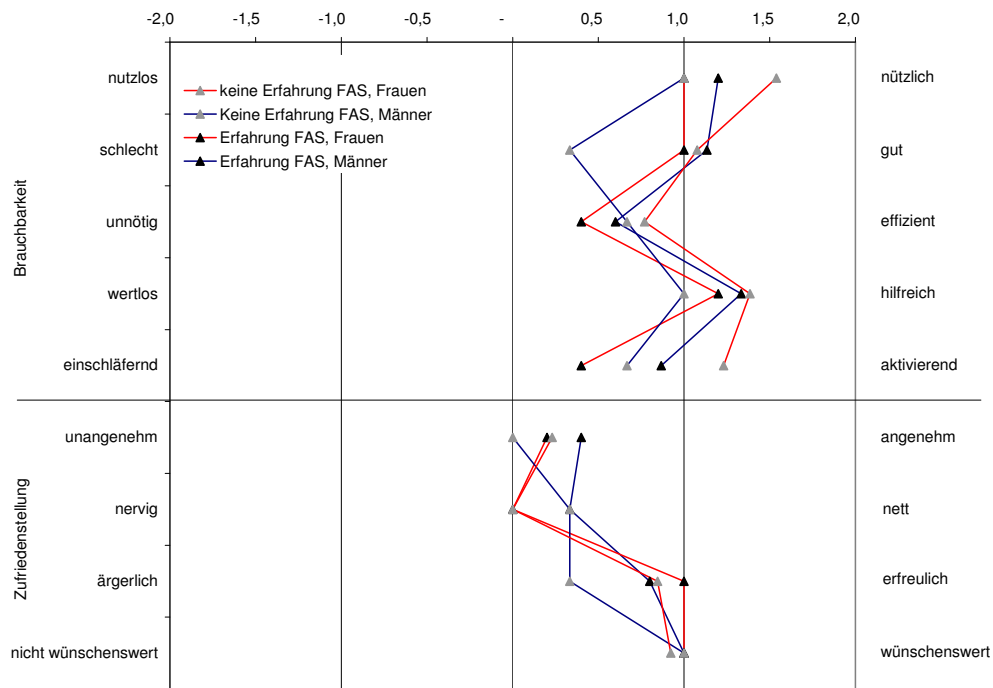


(a) Einzelfragen

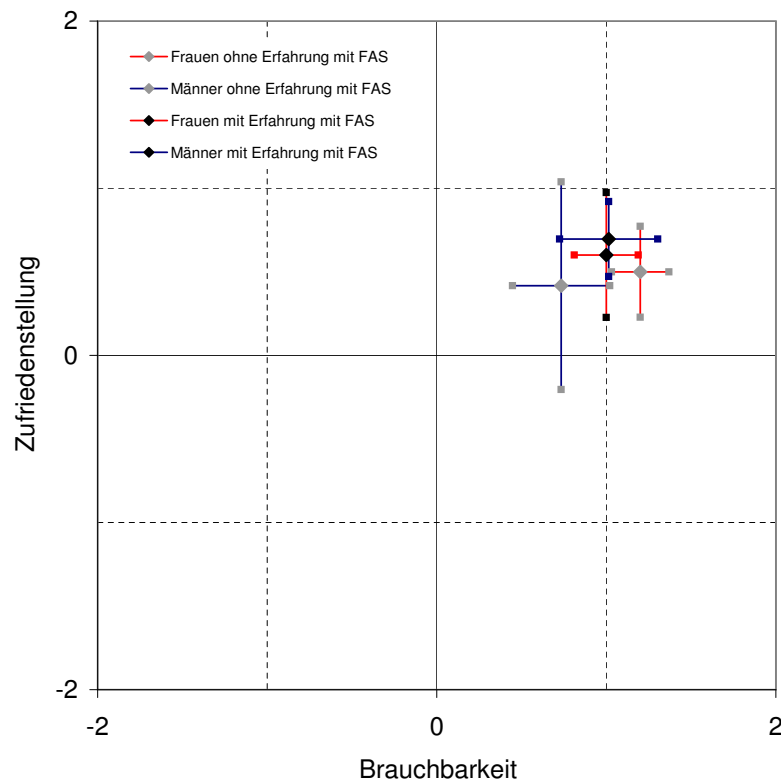


(b) Konstrukte

Abbildung E.3.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.



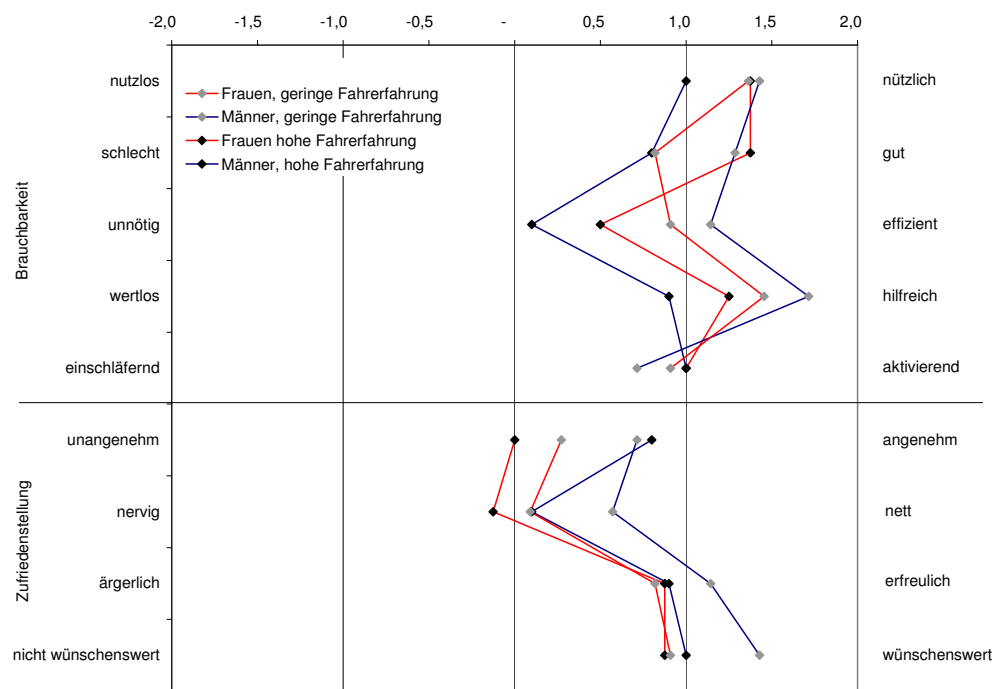
(a) Einzelfragen



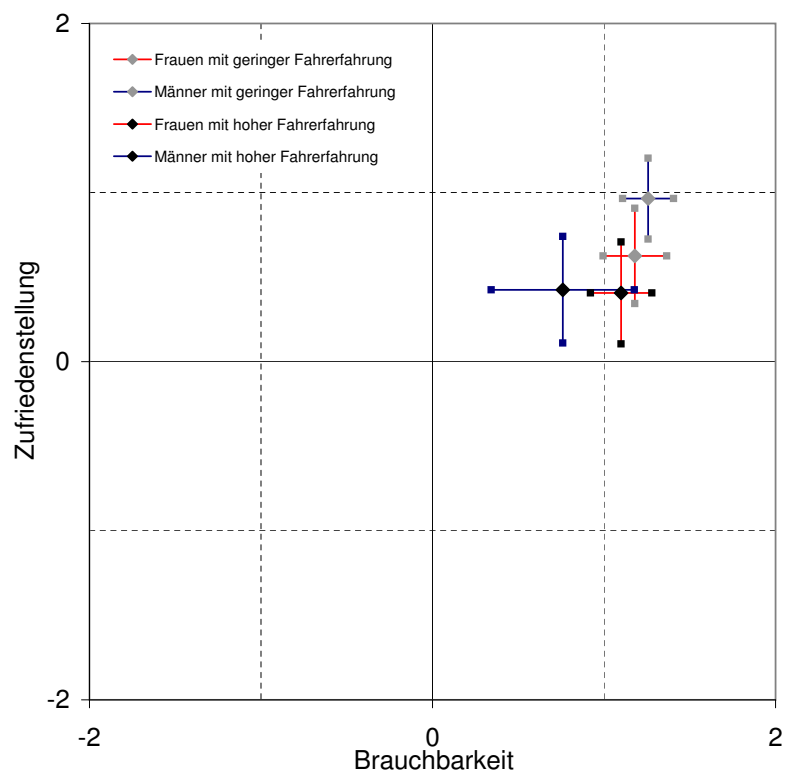
(b) Konstrukte

Abbildung E.4.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.

E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

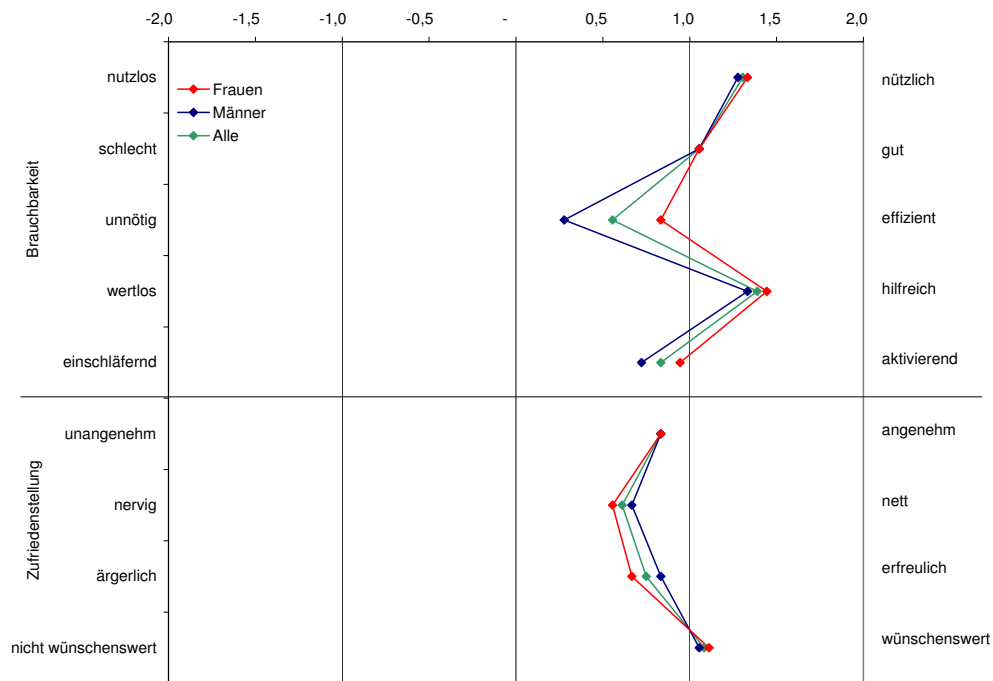


(a) Einzelfragen

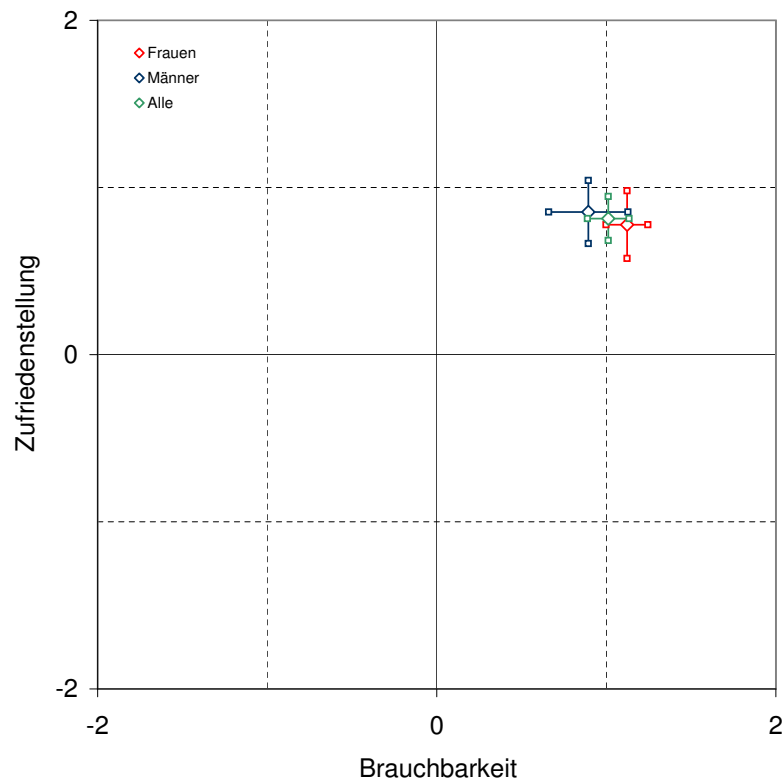


(b) Konstrukte

Abbildung E.5.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.



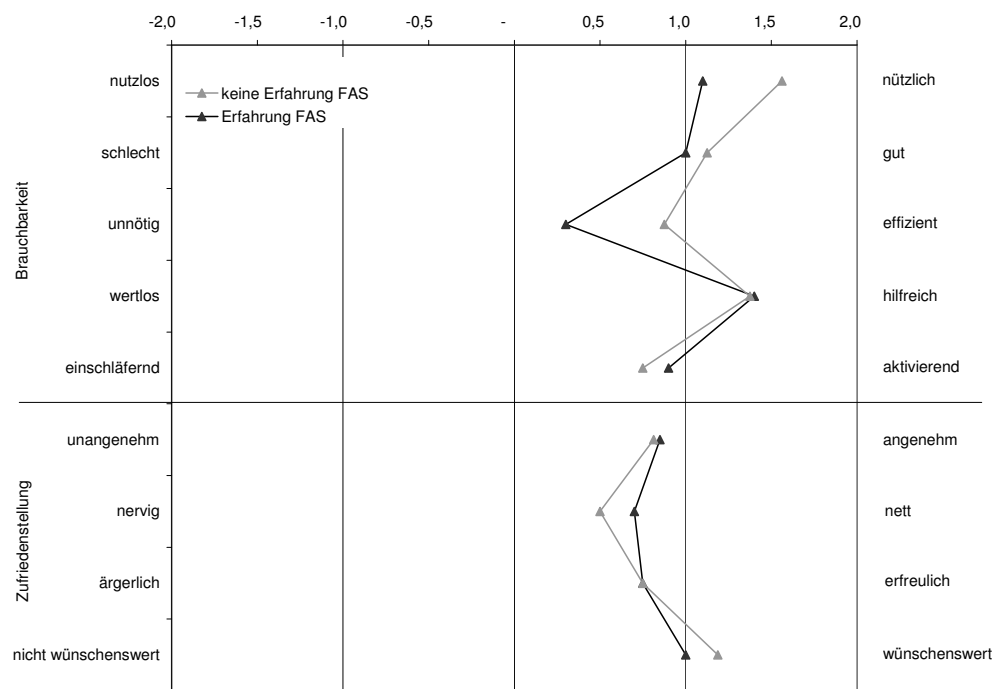
(a) Einzelfragen



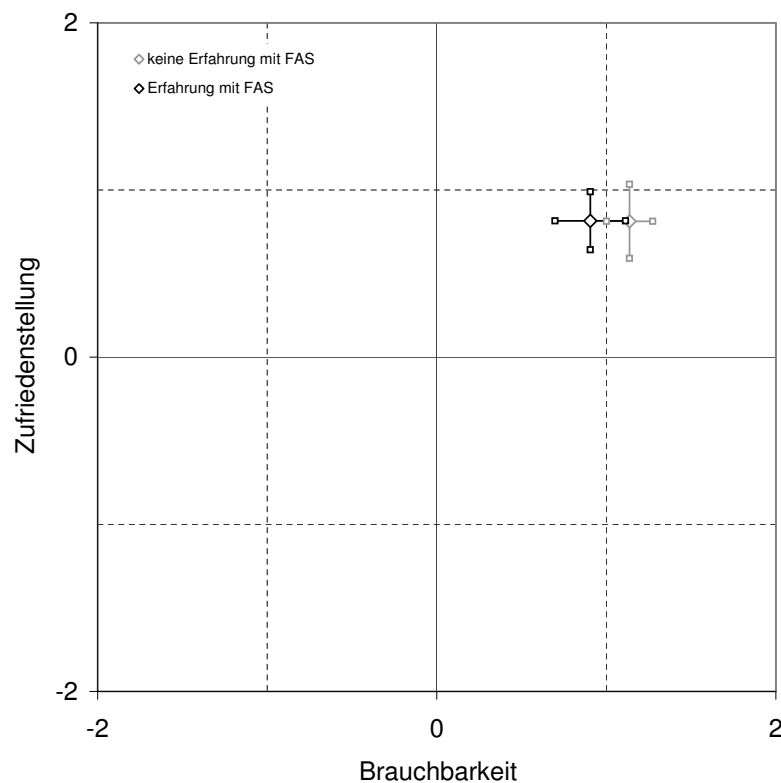
(b) Konstrukte

Abbildung E.6.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.

E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

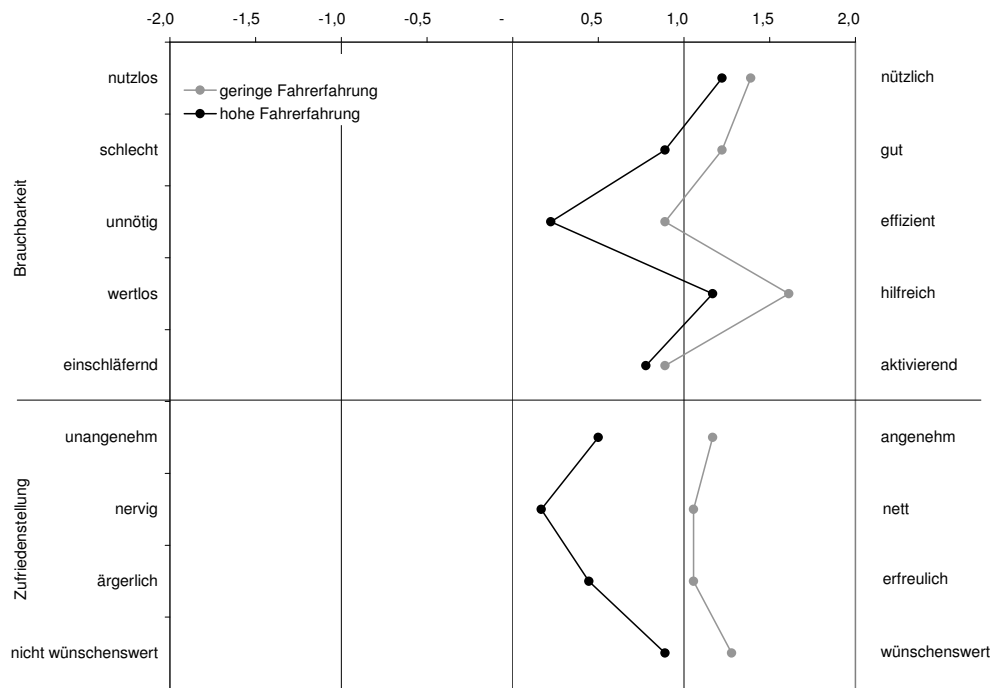


(a) Einzelfragen

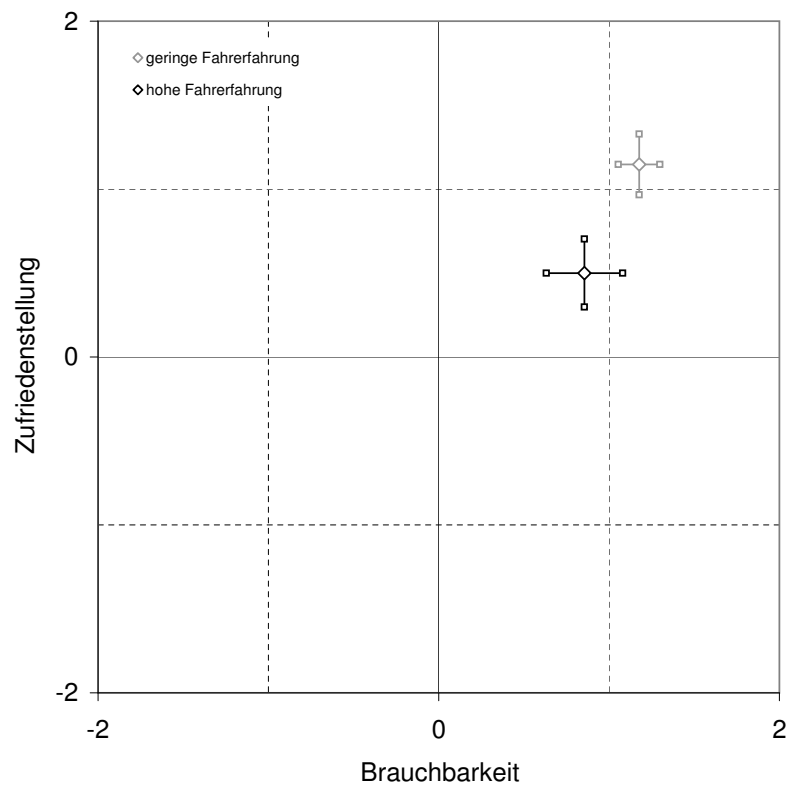


(b) Konstrukte

Abbildung E.7.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.



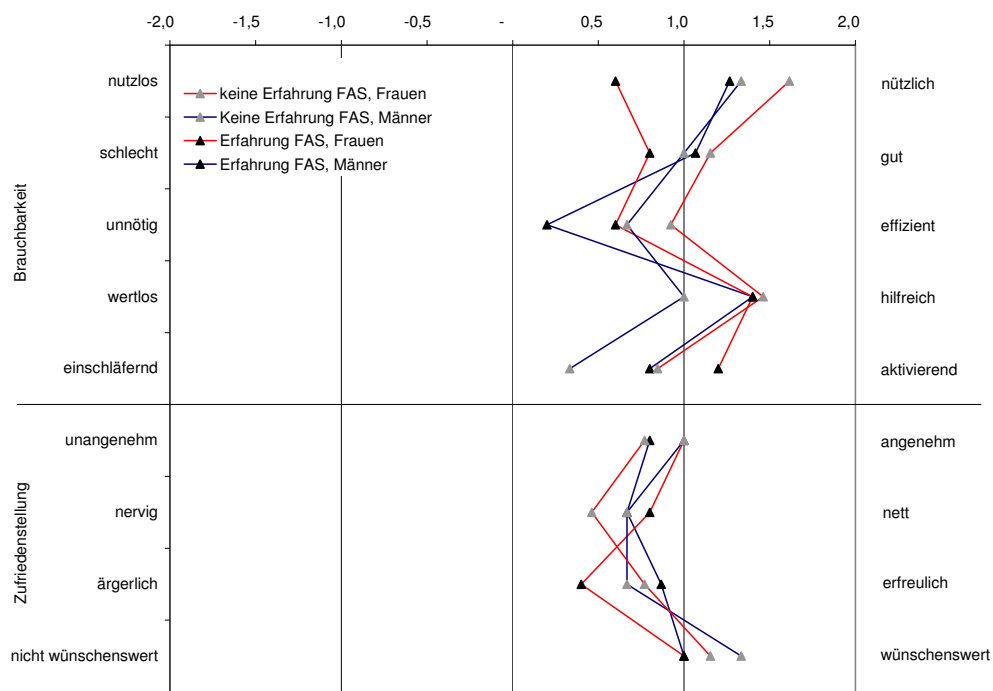
(a) Einzelfragen



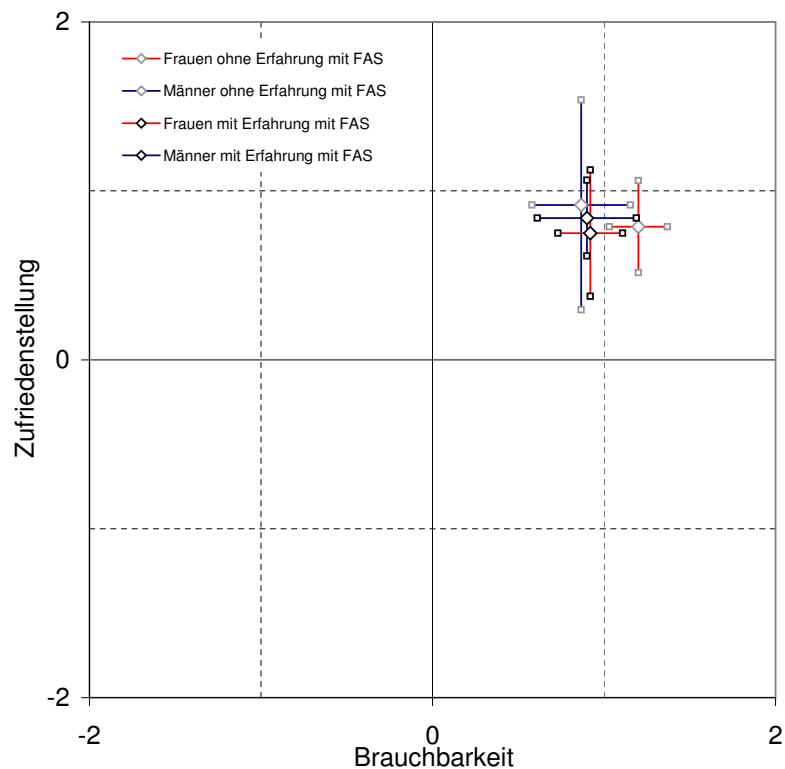
(b) Konstrukte

Abbildung E.8.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.

E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

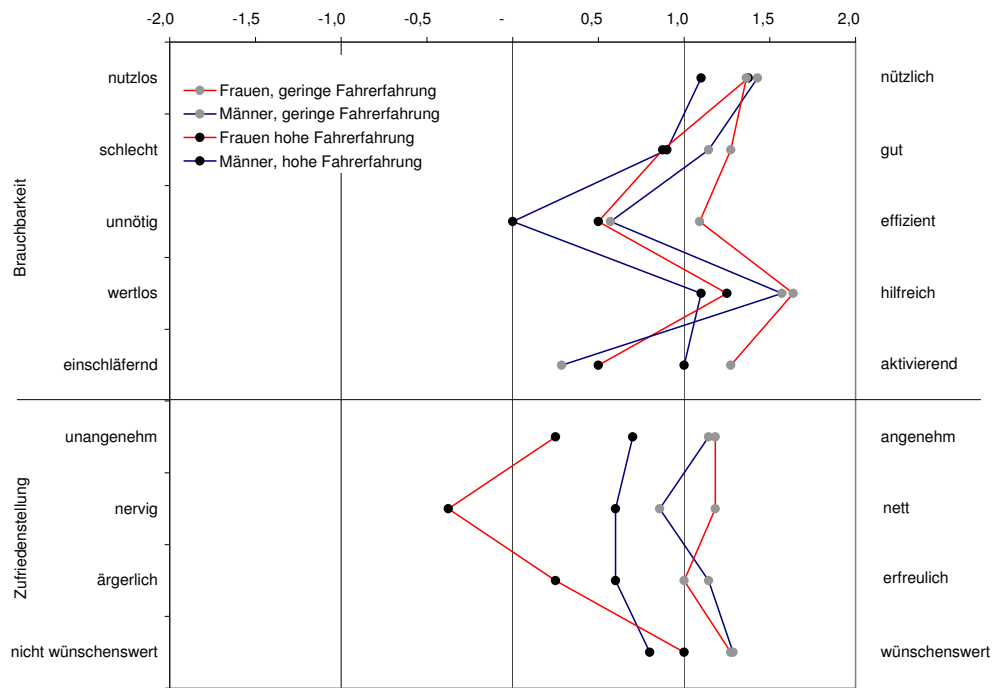


(a) Einzelfragen

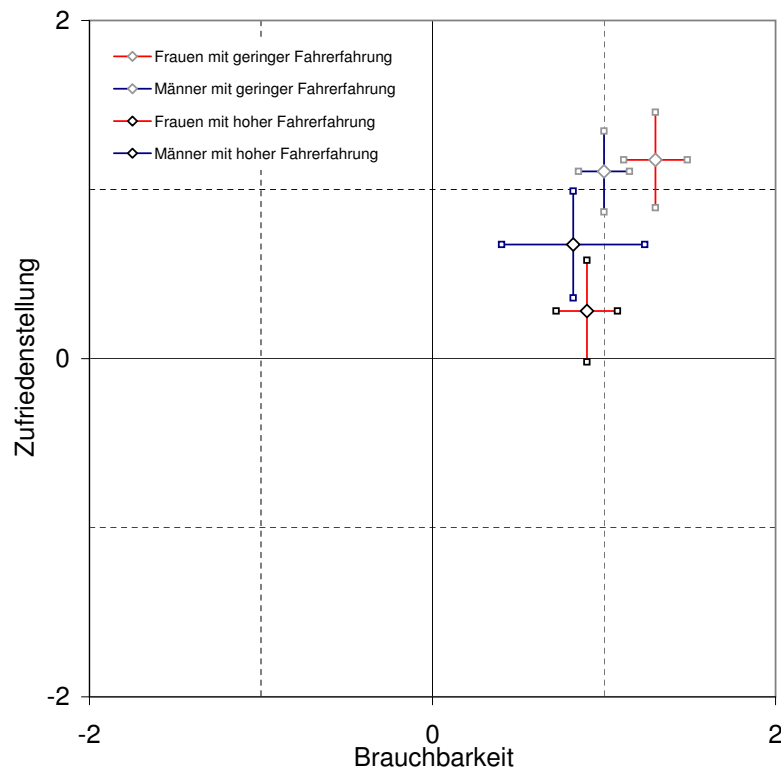


(b) Konstrukte

Abbildung E.9.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.



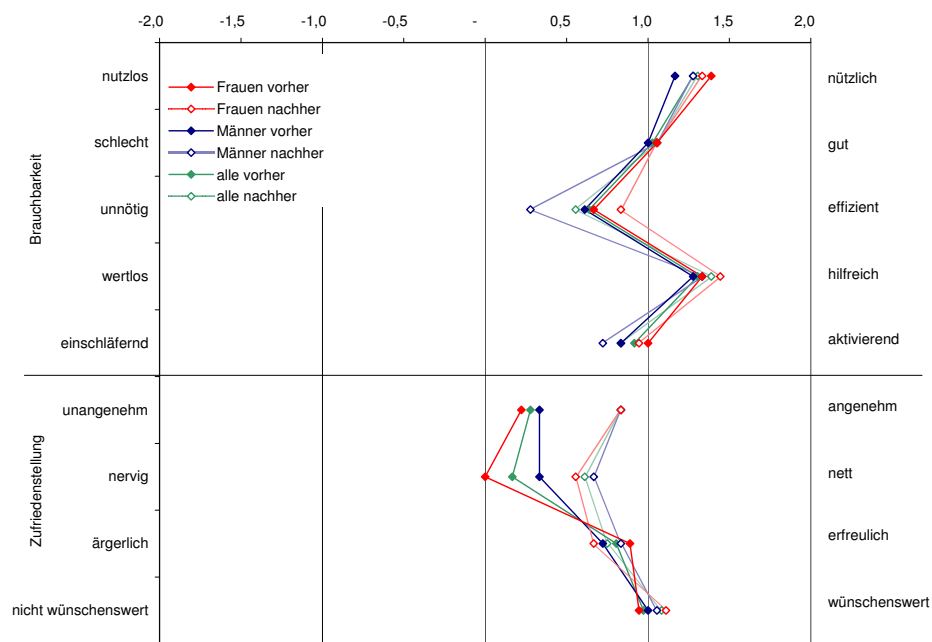
(a) Einzelfragen



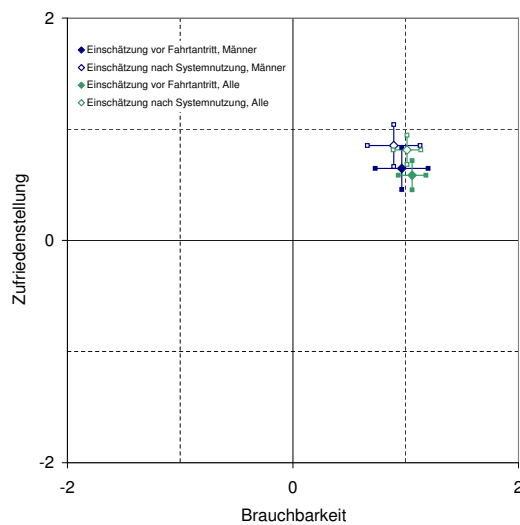
(b) Konstrukte

Abbildung E.10.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.

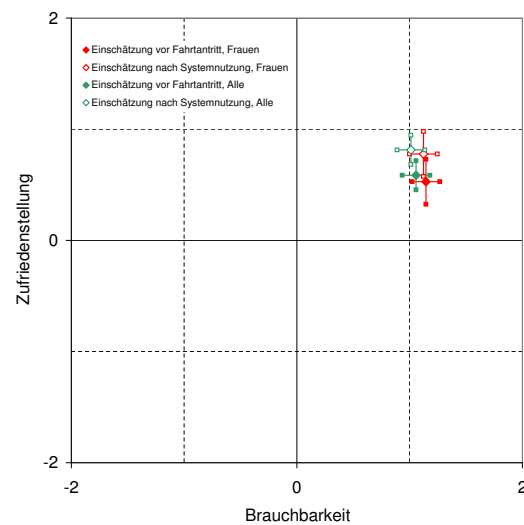
E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung



(a) Einzelfragen



(b) Alle und Männer

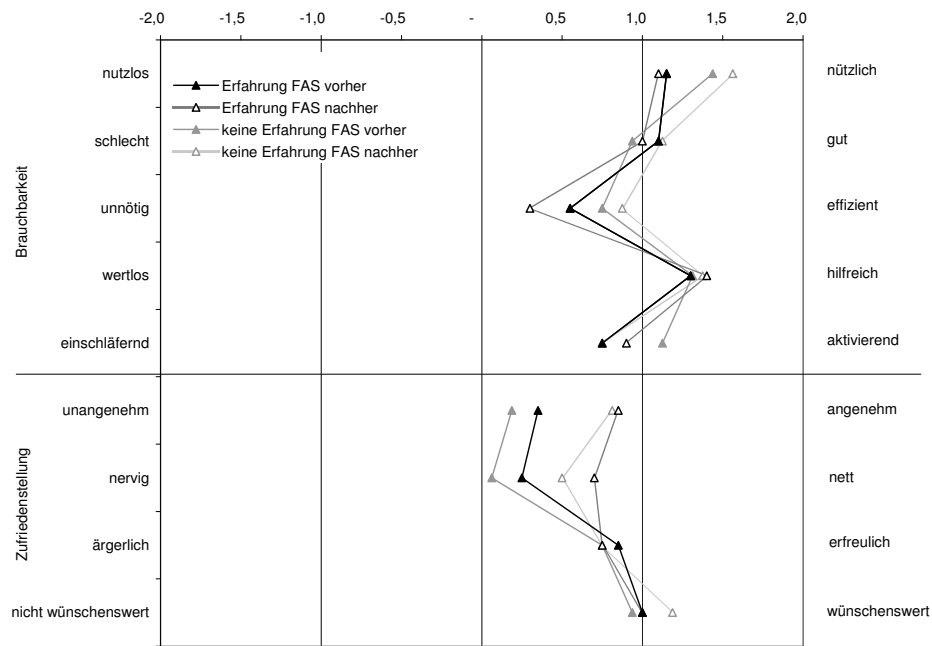


(c) Alle und Frauen

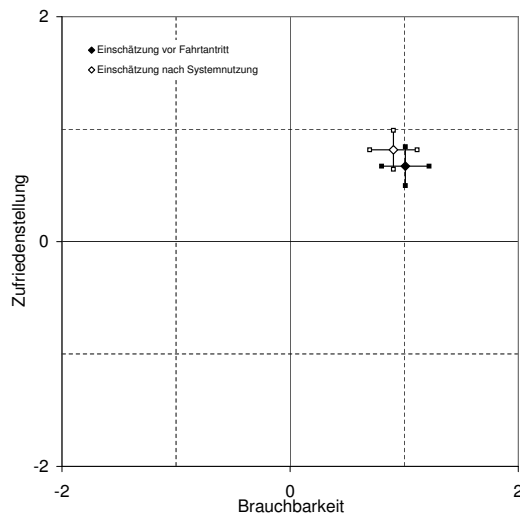
	Vor Fahrtantritt						Nach der Fahrt					
	Brauchbarkeit			Zufriedenstellung			Brauchbarkeit			Zufriedenstellung		
	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI
Alle	0,934	1,057	1,18	0,454	0,586	0,717	0,888	1,011	1,344	0,683	0,814	0,945
Männer	0,73	0,965	1,2	0,458	0,647	0,836	0,66	0,894	1,128	0,664	0,853	1,042
Frauen	1,021	1,144	1,267	0,326	0,528	0,73	0,999	1,122	1,245	0,576	0,778	0,98

(d)

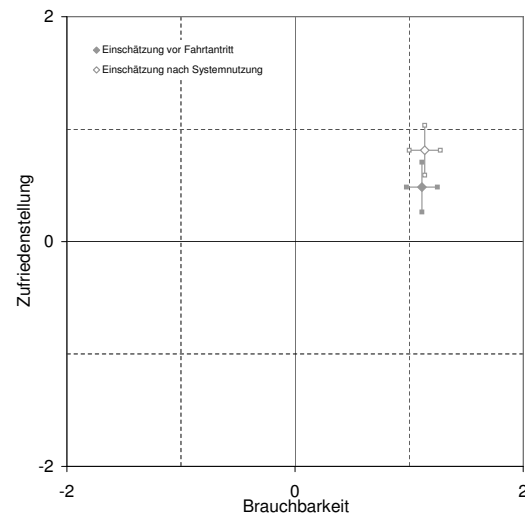
Abbildung E.11.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.



(a) Einzelfragen



(b) Erfahrung mit FAS

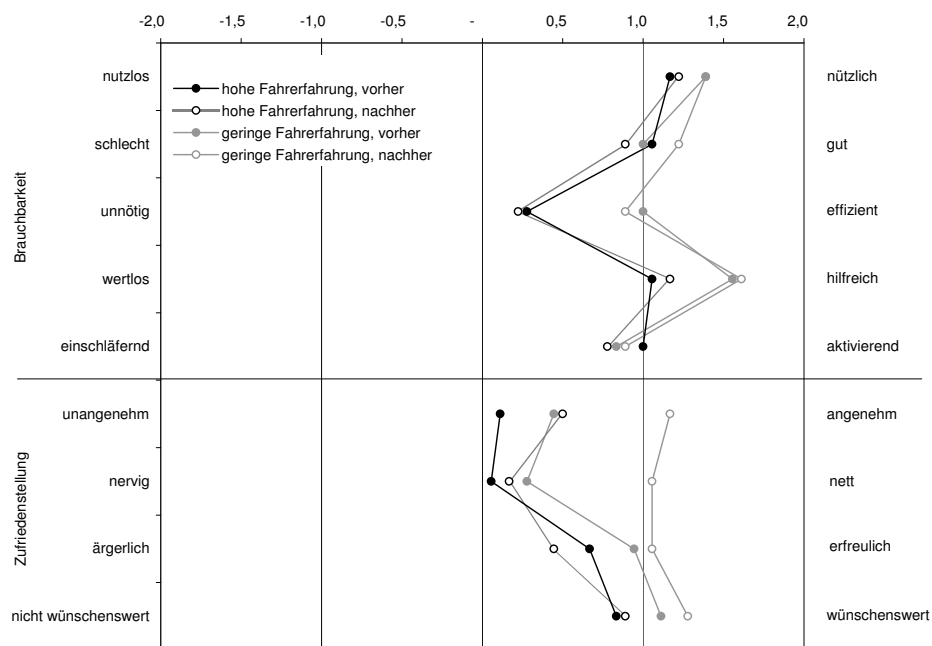


(c) keine Erfahrung mit FAS

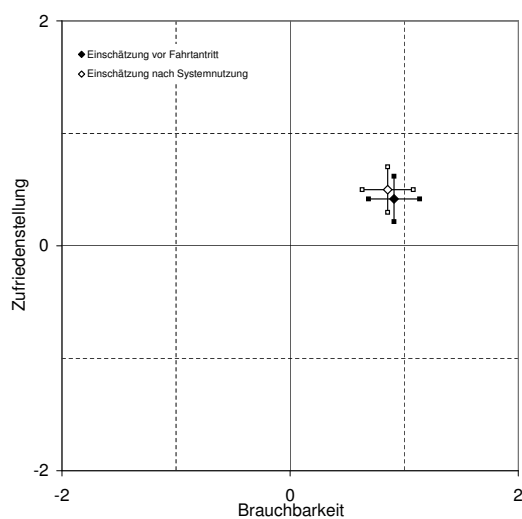
	Vor Fahrtantritt						Nach der Fahrt					
	Brauchbarkeit			Zufriedenstellung			Brauchbarkeit			Zufriedenstellung		
	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI
mit Erf.	0,806	1,011	1,218	0,498	0,671	0,844	0,697	0,905	1,113	0,643	0,816	0,989
ohne Erf.	0,976	1,113	1,249	0,263	0,484	0,706	1,001	1,138	1,274	0,591	0,812	1,034

Abbildung E.12.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.

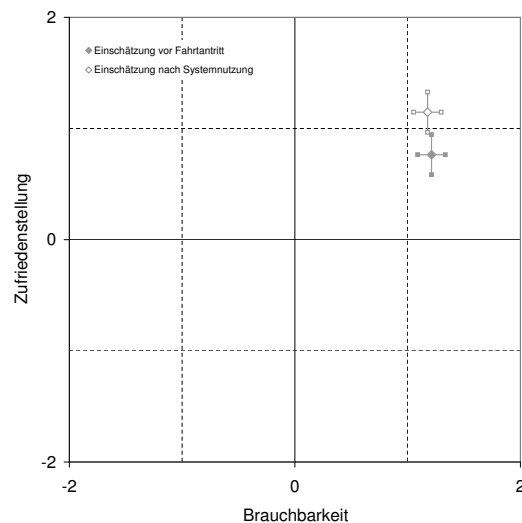
E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung



(a) Einzelfragen



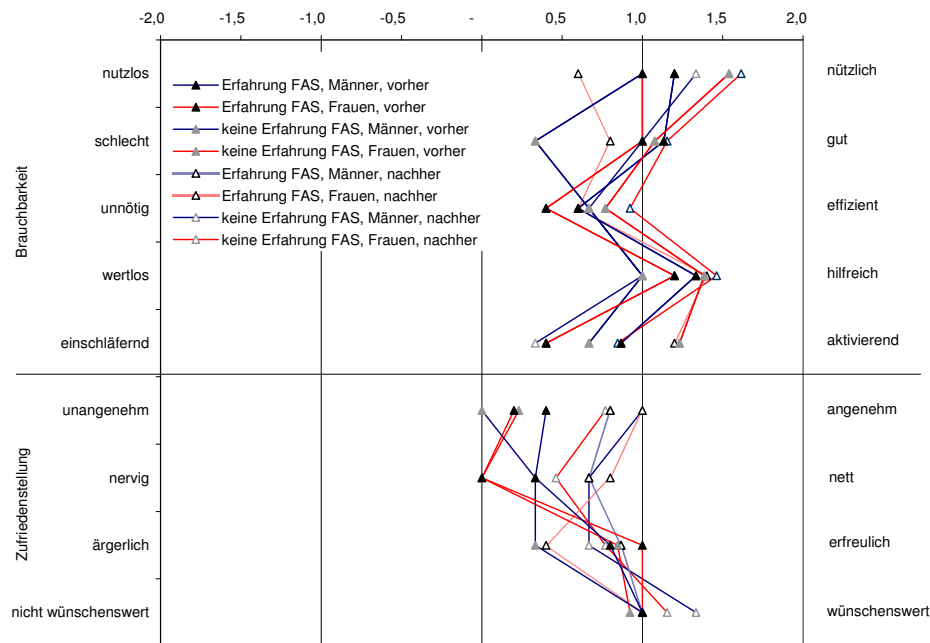
(b) hohe Fahrerfahrung



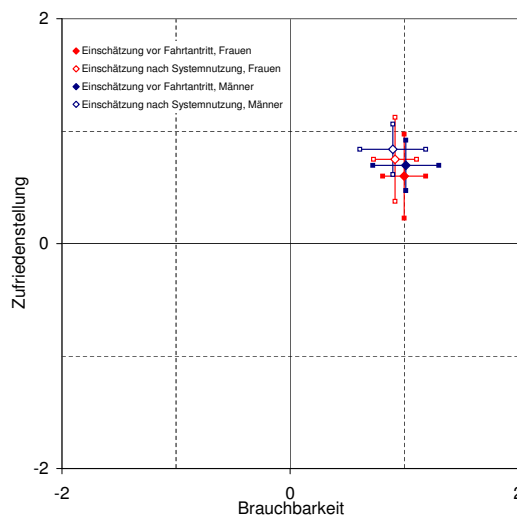
(c) geringe Fahrerfahrung

	Vor Fahrtantritt						Nach der Fahrt					
	Brauchbarkeit			Zufriedenstellung			Brauchbarkeit			Zufriedenstellung		
	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI
hohe Erf.	0,684	0,911	1,135	0,214	0,417	0,619	0,631	0,856	1,080	0,298	0,50	0,702
geringe Erf.	1,089	1,212	1,334	0,584	0,765	0,945	1,054	1,767	1,299	0,967	1,147	1,328

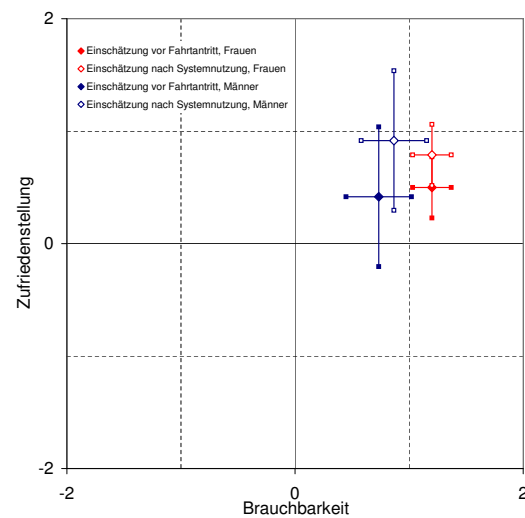
Abbildung E.13.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.



(a) Einzelfragen



(b) Erfahrung mit FAS

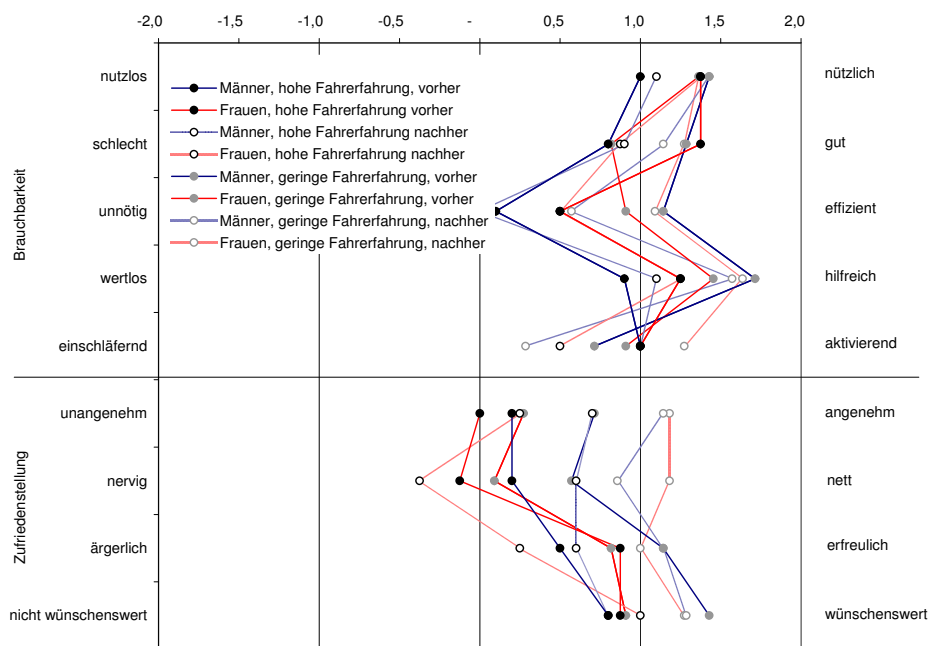


(c) keine Erfahrung mit FAS

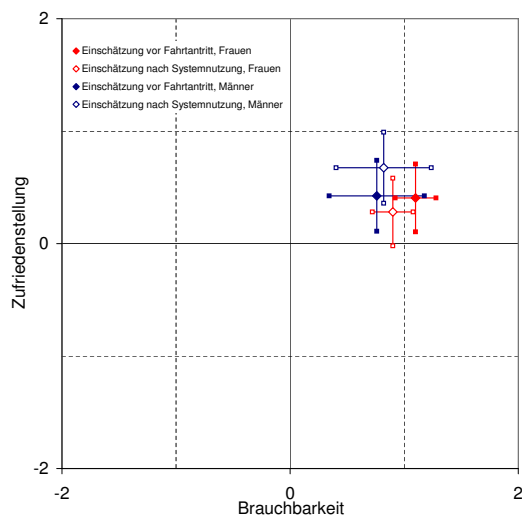
	Vor Fahrtantritt						Nach der Fahrt					
	Brauchbarkeit			Zufriedenstellung			Brauchbarkeit			Zufriedenstellung		
	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI
M. mit Erf.	0,725	1,014	1,303	0,472	0,696	0,921	0,611	0,9	1,189	0,615	0,839	1,064
M. ohne Erf.	0,446	0,733	1,02	-0,204	0,417	1,037	0,58	0,867	1,154	0,296	0,917	1,54
F. mit Erf.	0,812	1	1,188	0,226	0,6	0,974	0,732	0,92	1,108	0,376	0,75	1,124
F. ohne Erf.	1,031	1,2	1,369	0,228	0,5	0,772	1,03	1,2	1,369	0,516	0,788	1,061

Abbildung E.14.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle. 227

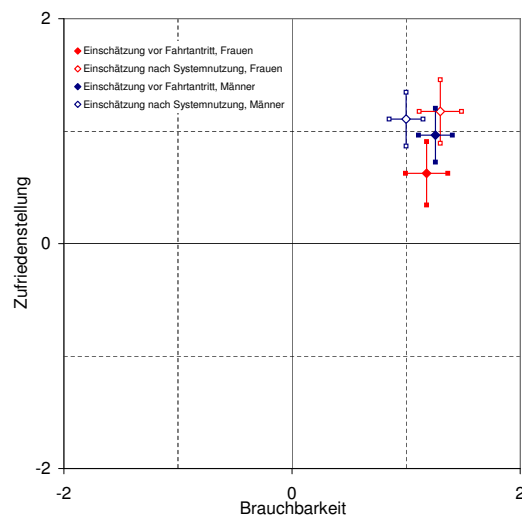
E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung



(a) Einzelfragen



(b) hohe Fahrerfahrung



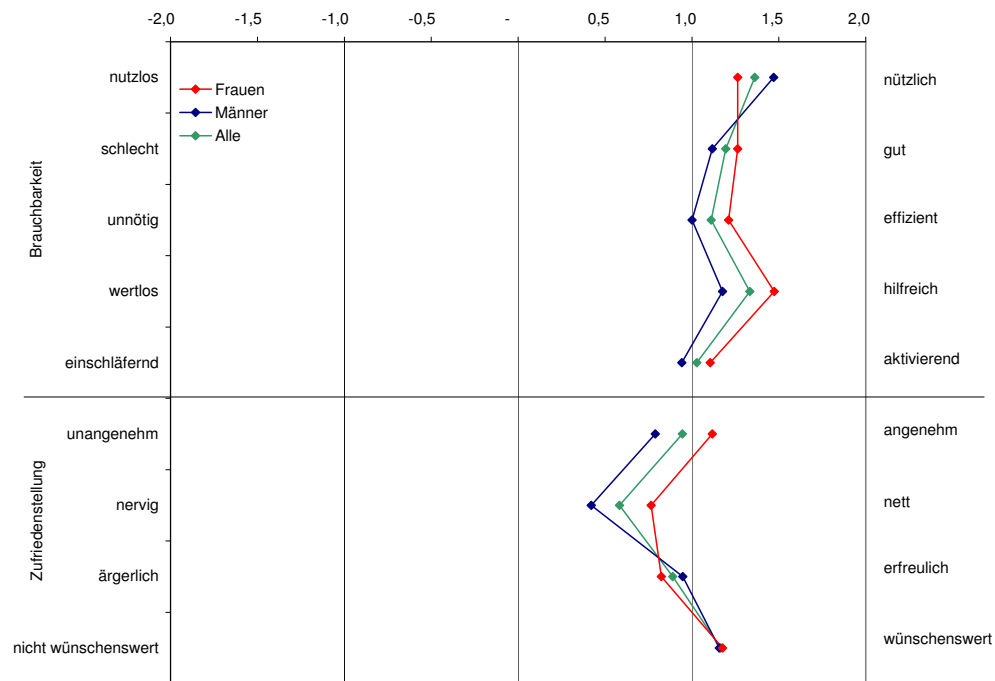
(c) geringe Fahrerfahrung

	Vor Fahrtantritt						Nach der Fahrt					
	Brauchbarkeit			Zufriedenstellung			Brauchbarkeit			Zufriedenstellung		
	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI
M. hohe Erf.	0,342	0,76	1,177	0,11	0,425	0,74	0,403	0,82	1,237	0,36	0,675	0,99
M. ger. Erf.	1,109	1,257	1,405	0,725	0,964	1,204	0,851	1	1,148	0,868	1,107	1,346
F. hohe Erf.	0,921	1,1	1,279	0,105	0,406	0,707	0,721	0,9	1,079	-0,02	0,281	0,582
F. ger. Erf.	0,995	1,18	1,365	0,343	0,625	0,907	1,115	1,3	1,485	0,893	1,175	1,457

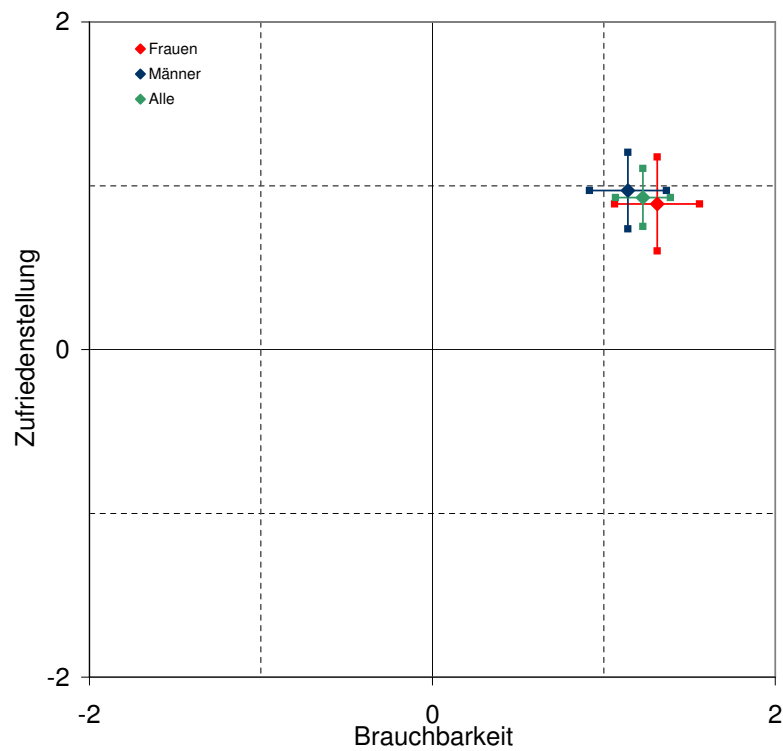
Abbildung E.15.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.

E.2. Hot Spot Warning

E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

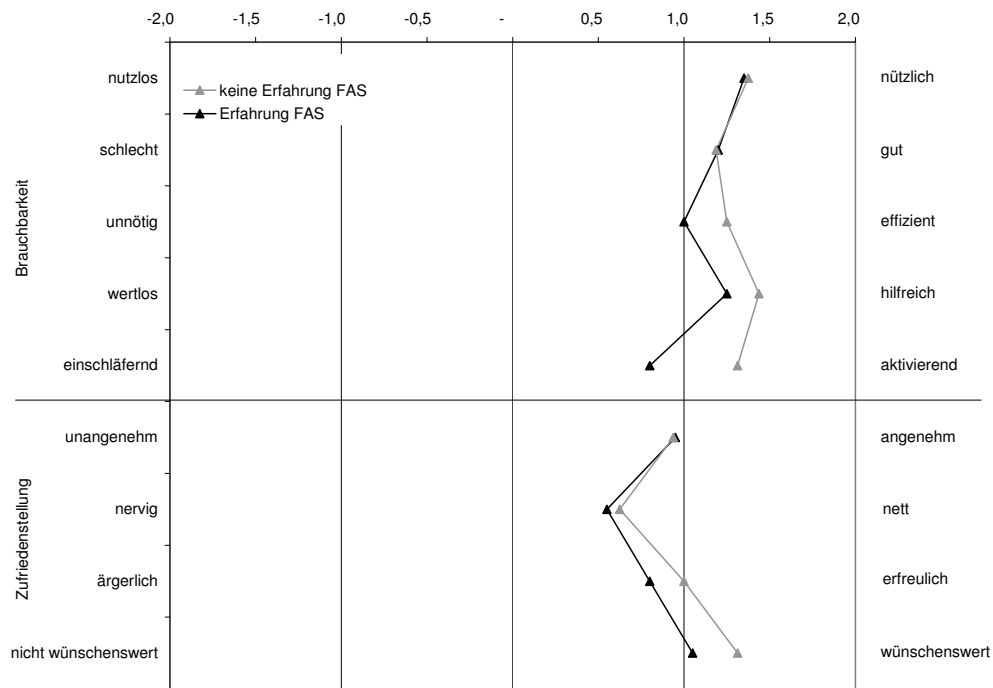


(a) Einzelfragen

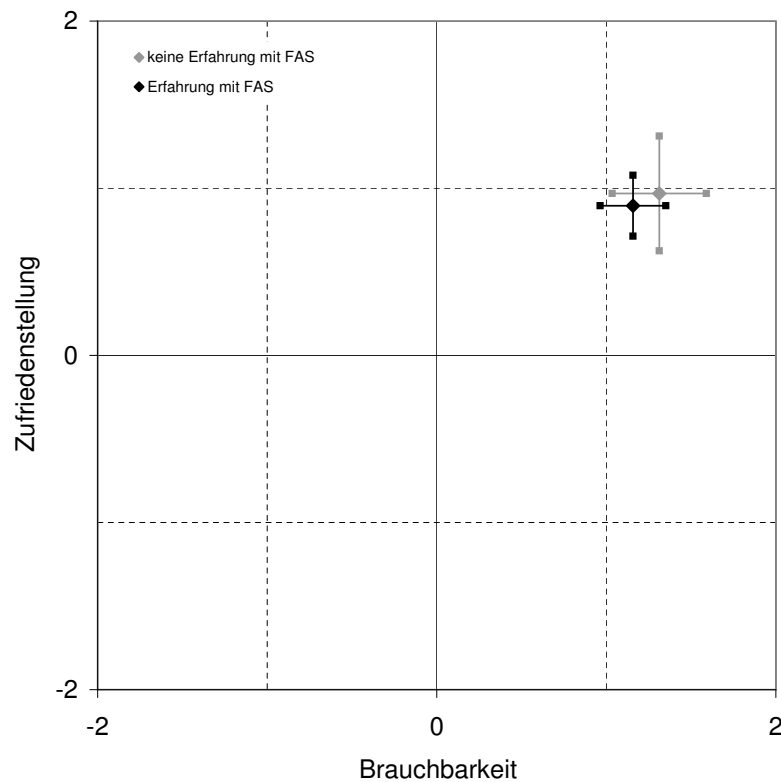


(b) Konstrukte

Abbildung E.16.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.



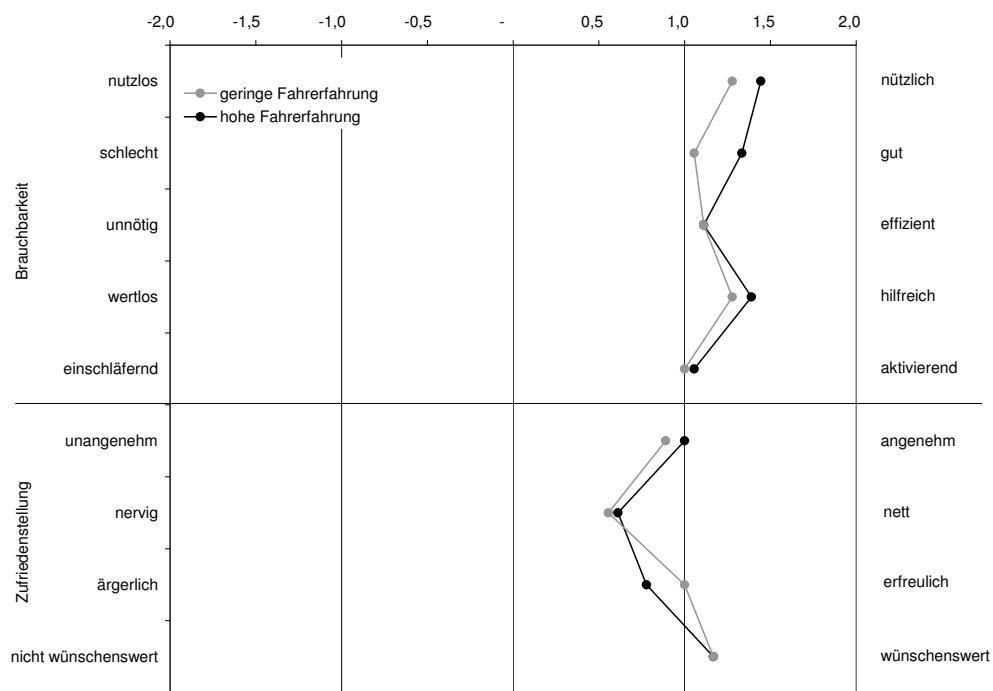
(a) Einzelfragen



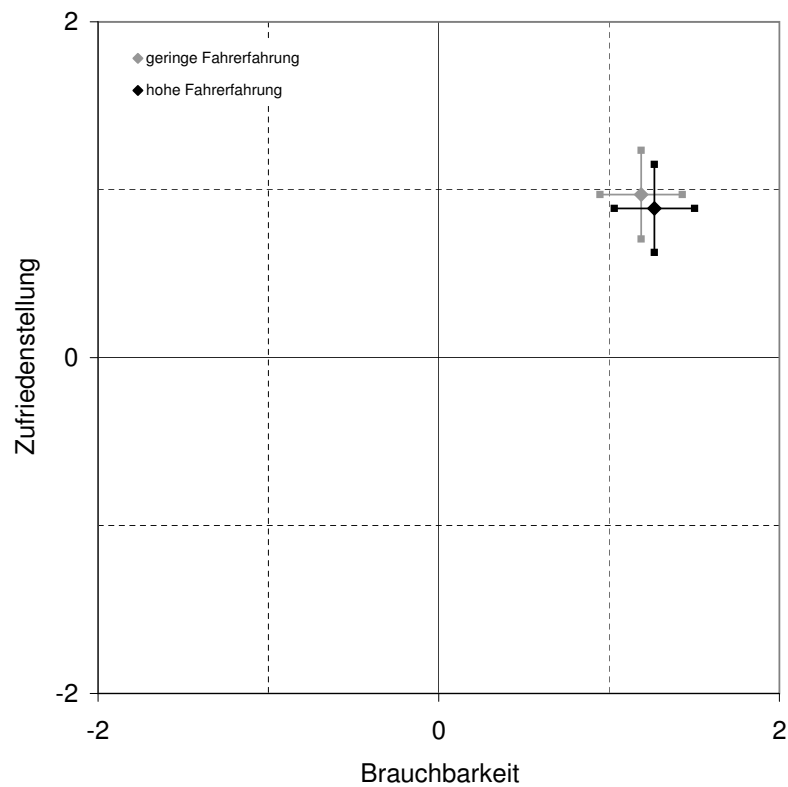
(b) Konstrukte

Abbildung E.17.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.

E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

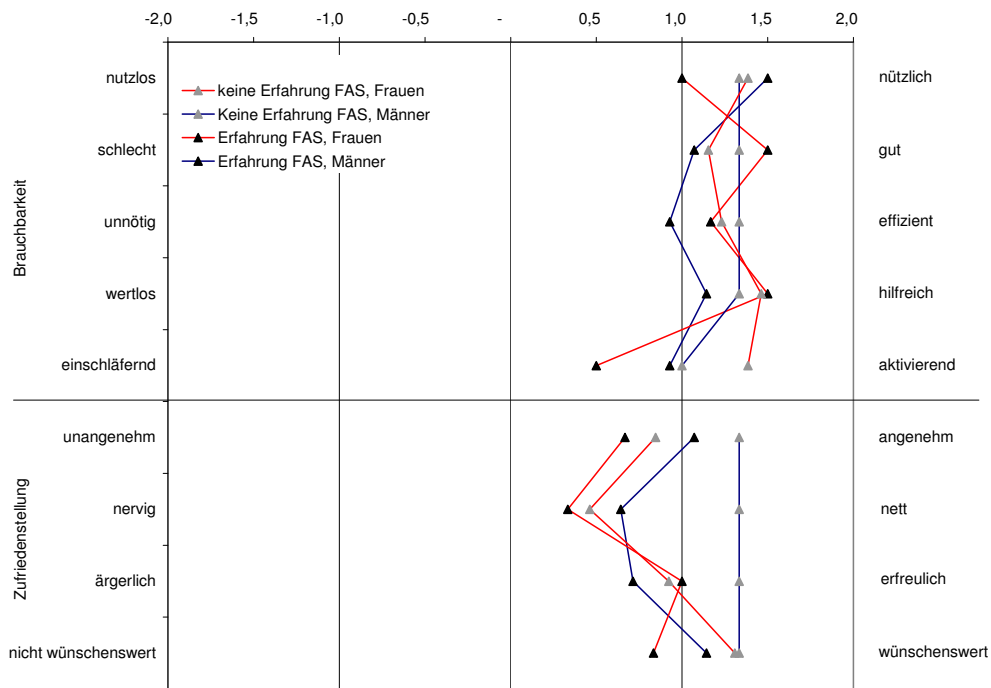


(a) Einzelfragen

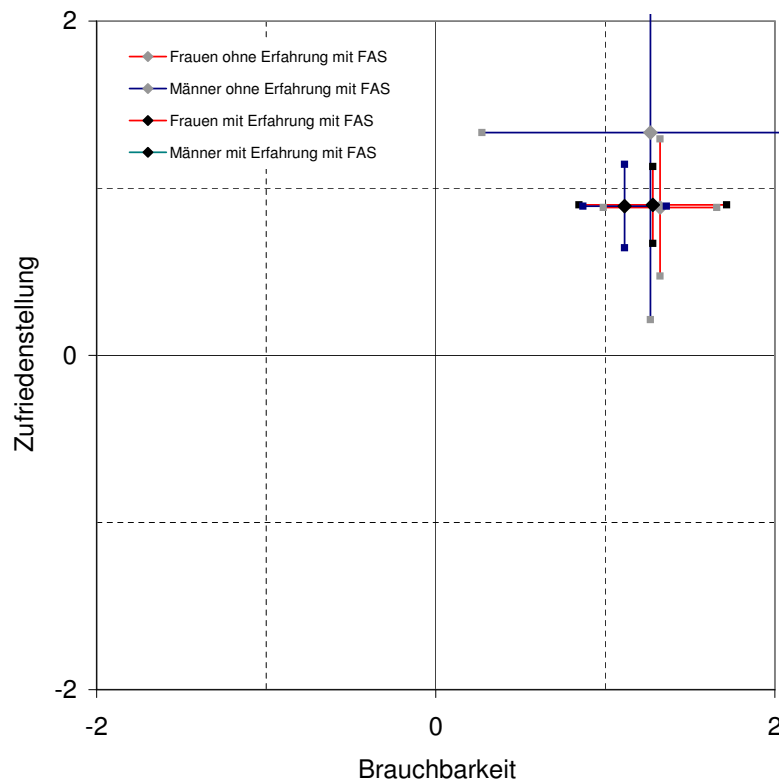


(b) Konstrukte

Abbildung E.18.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.



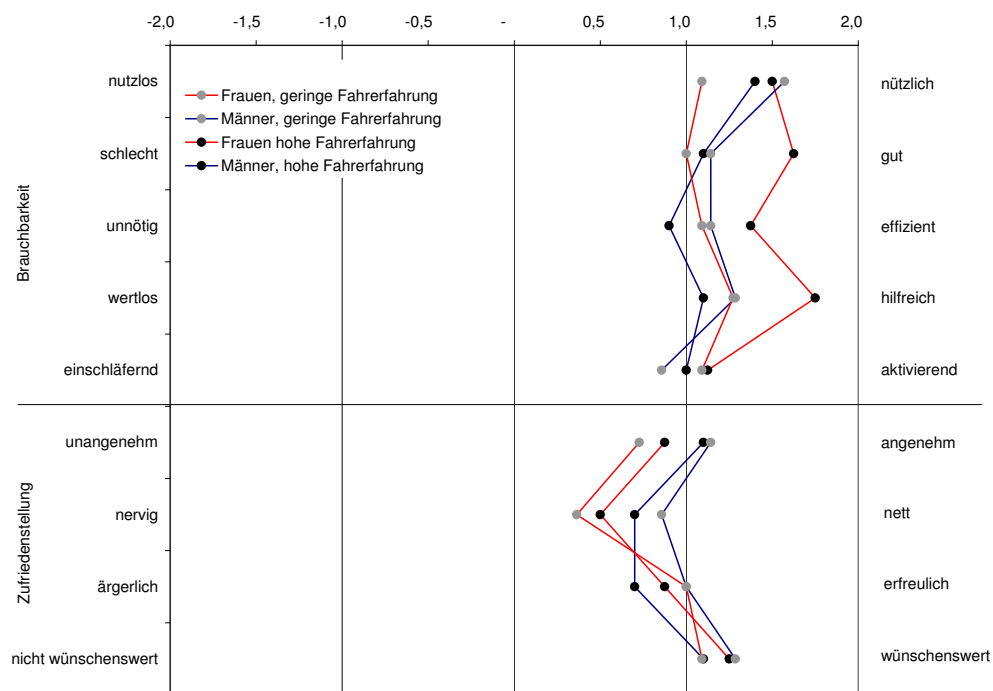
(a) Einzelfragen



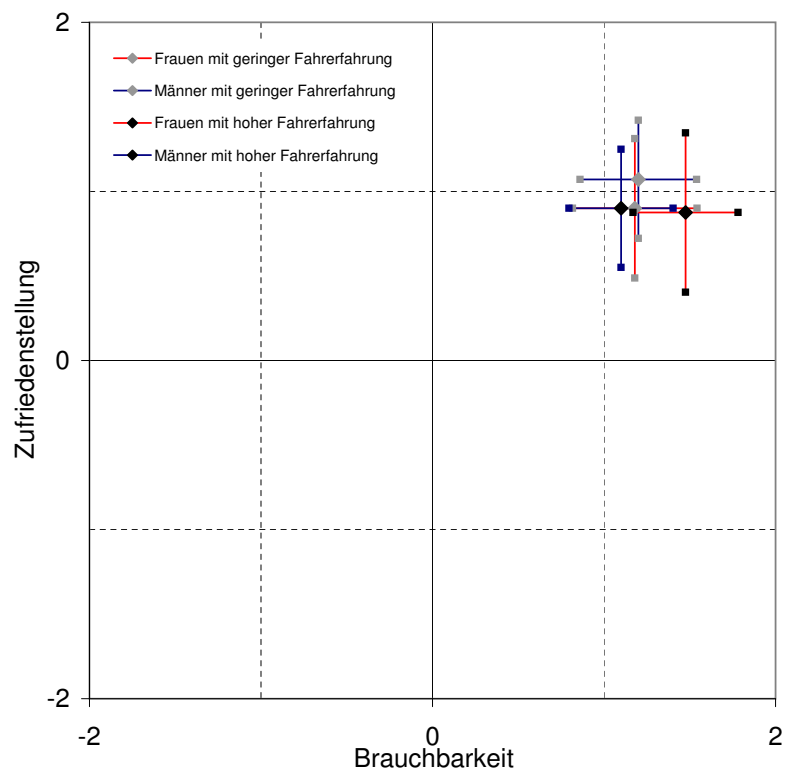
(b) Konstrukte

Abbildung E.19.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.

E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

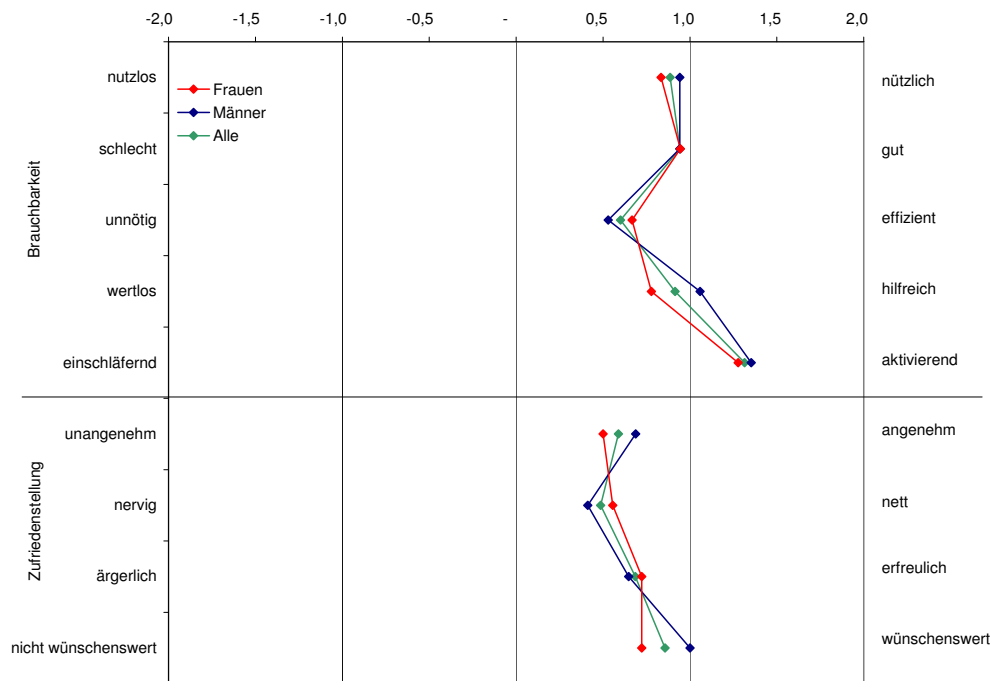


(a) Einzelfragen

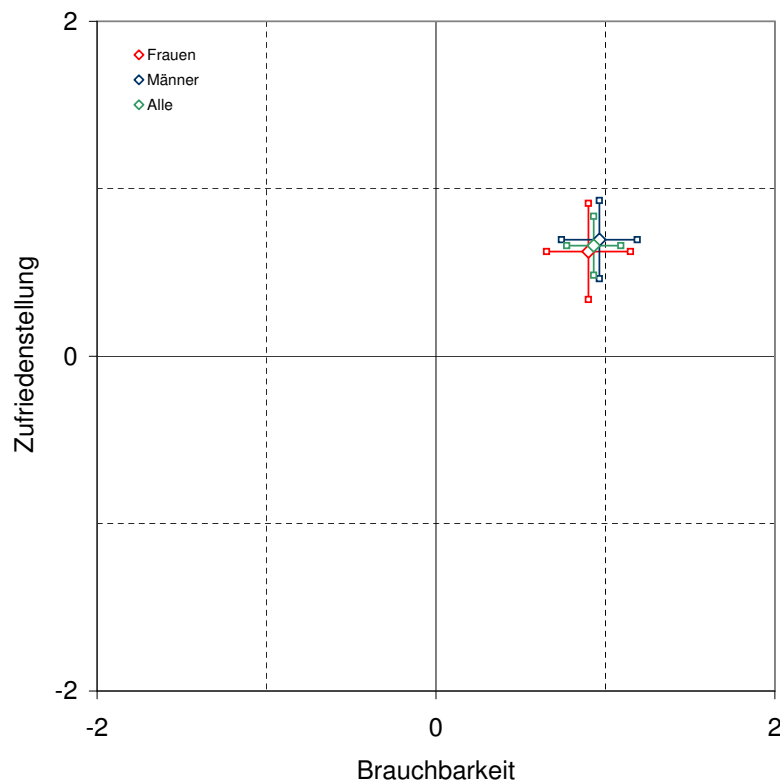


(b) Konstrukte

Abbildung E.20.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vor Fahrtantritt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.



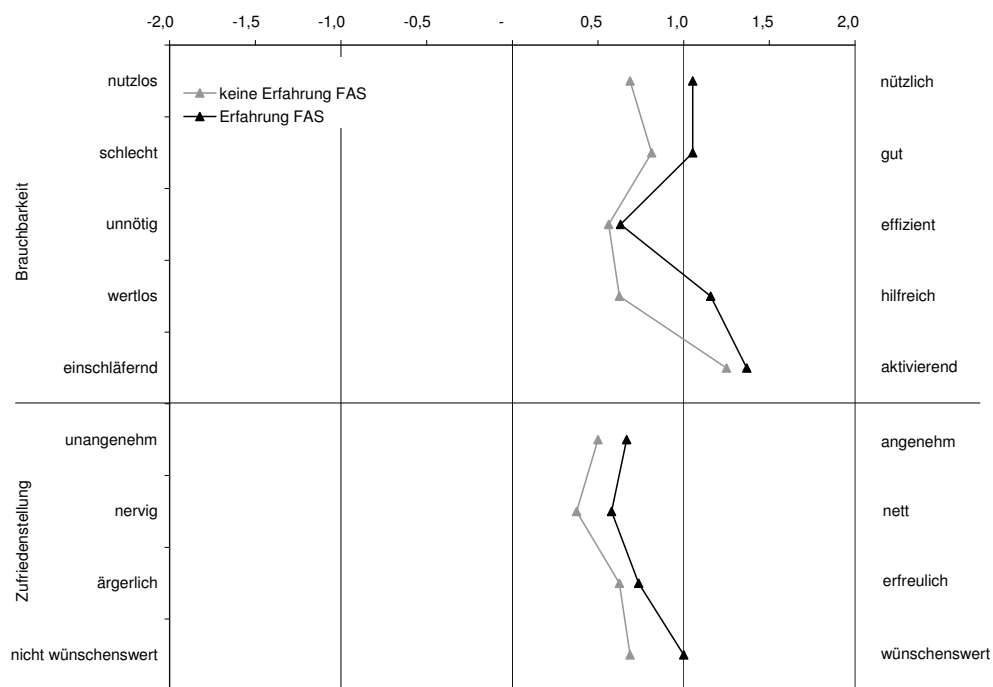
(a) Einzelfragen



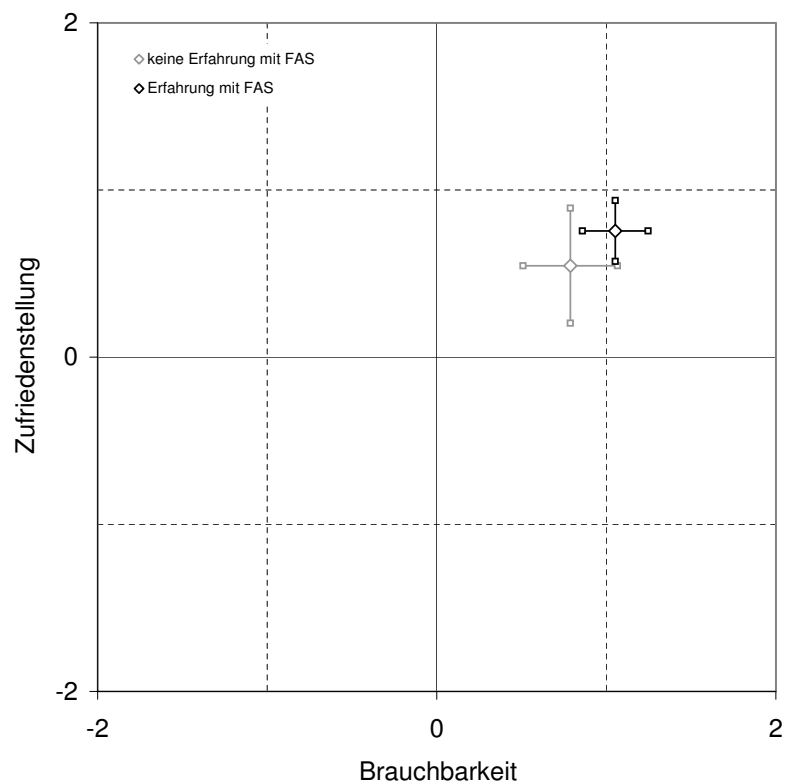
(b) Konstrukte

Abbildung E.21.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.

E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

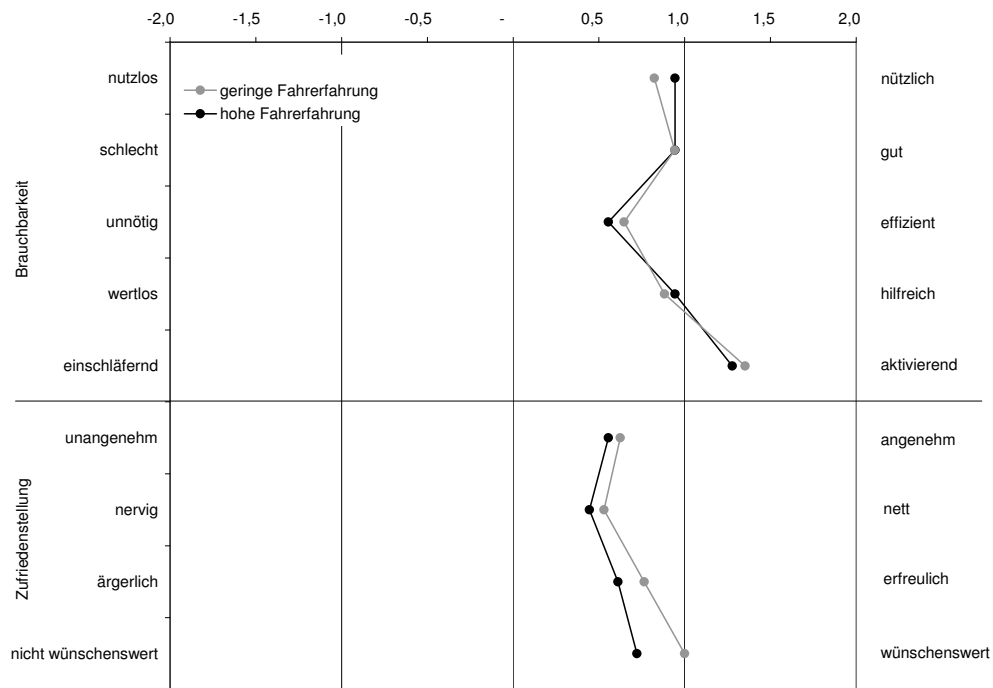


(a) Einzelfragen

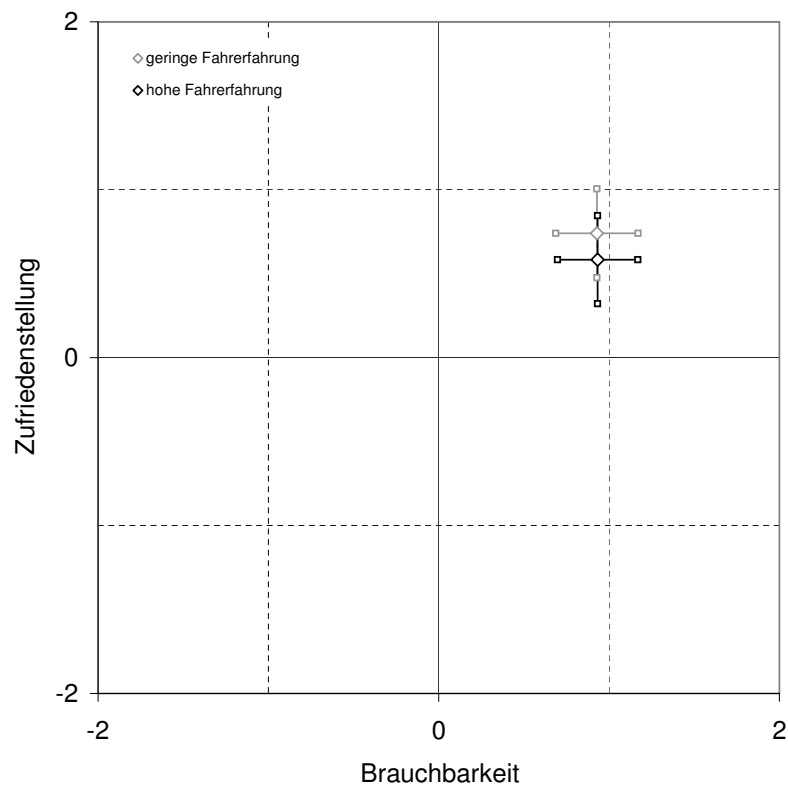


(b) Konstrukte

Abbildung E.22.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.



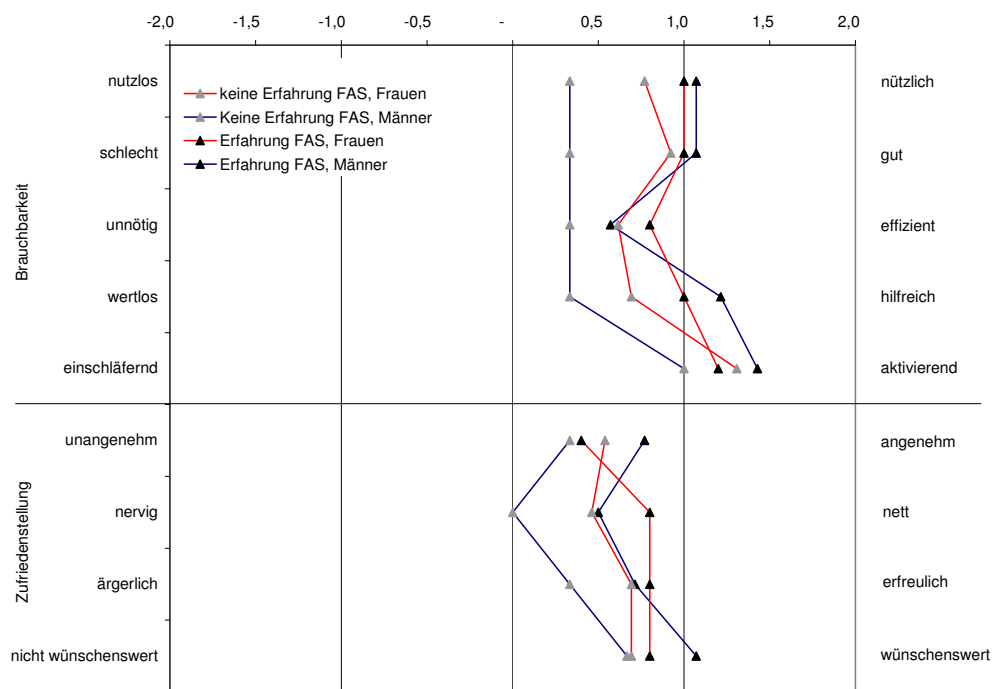
(a) Einzelfragen



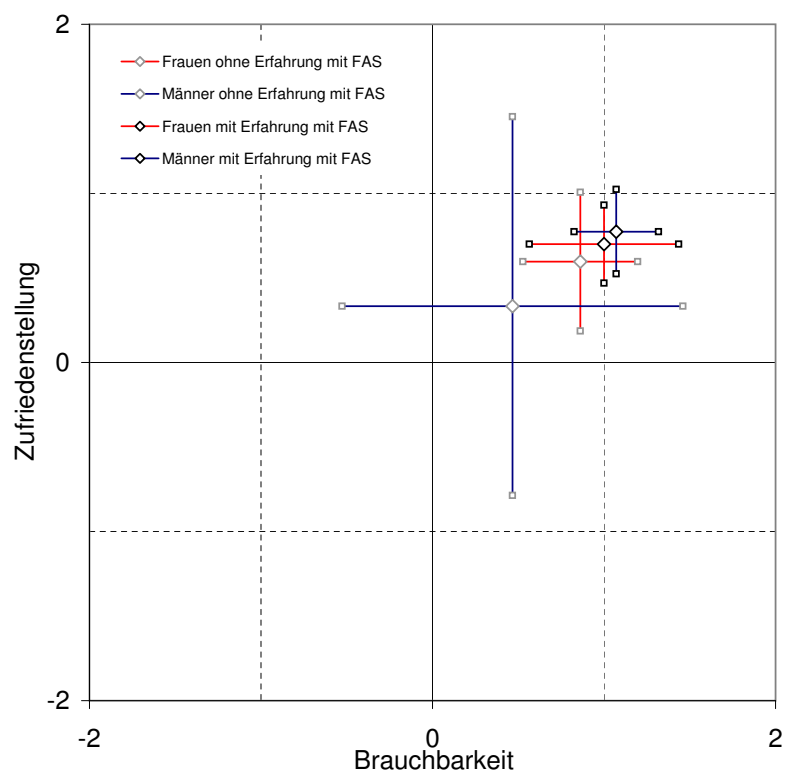
(b) Konstrukte

Abbildung E.23.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall. 237

E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung

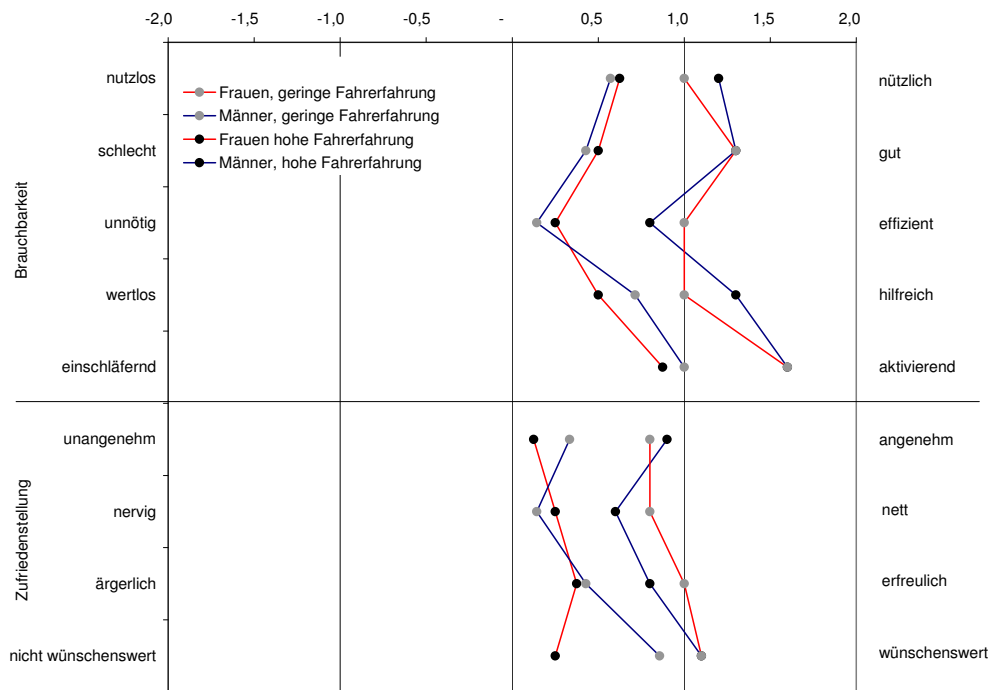


(a) Einzelfragen

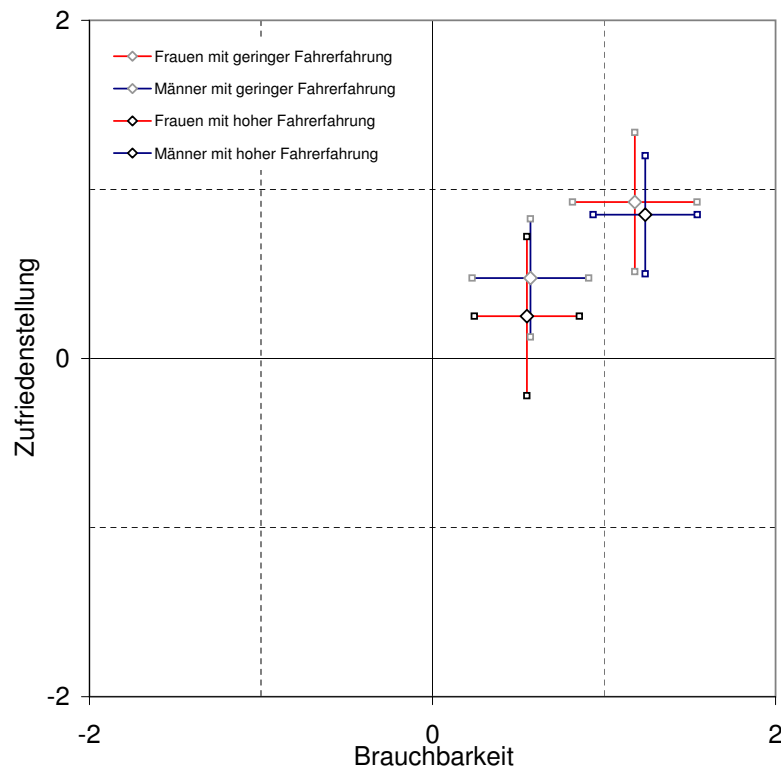


(b) Konstrukte

Abbildung E.24.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.



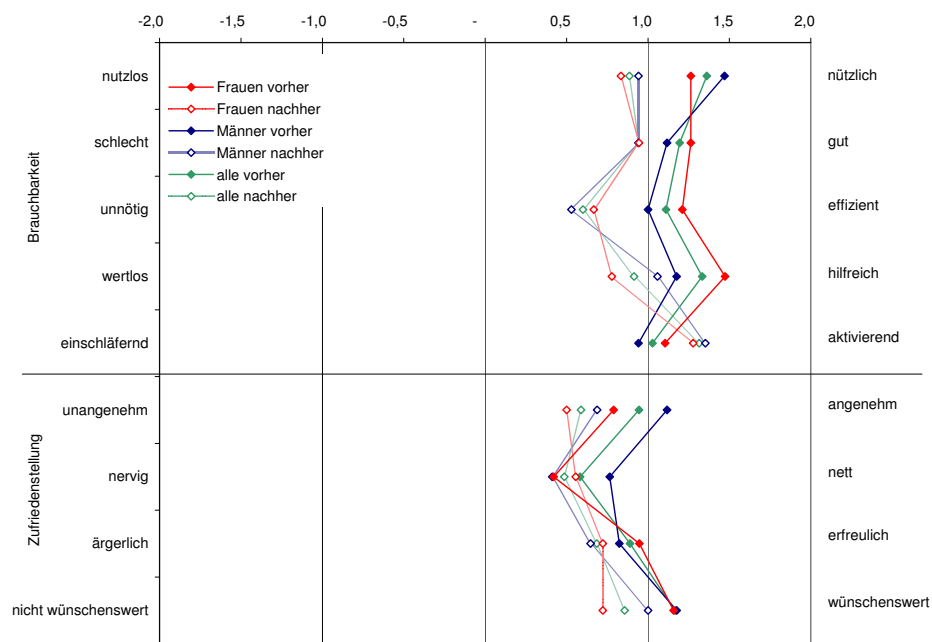
(a) Einzelfragen



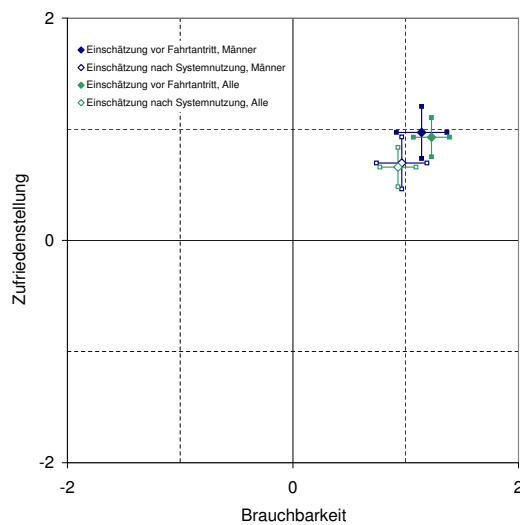
(b) Konstrukte

Abbildung E.25.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning nach Abschluss der Fahrt: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken in Abbildung (b) repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall.

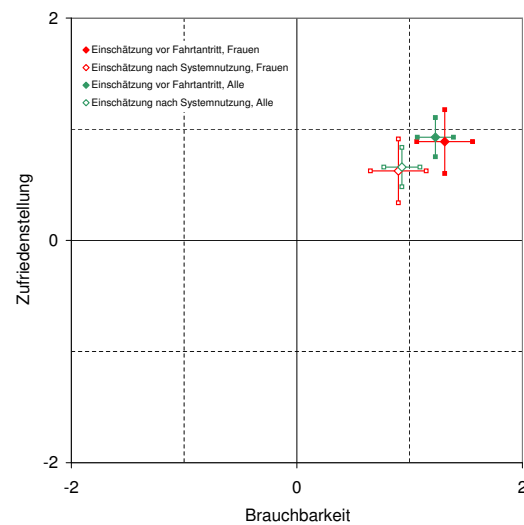
E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung



(a) Einzelfragen



(b) Alle und Männer

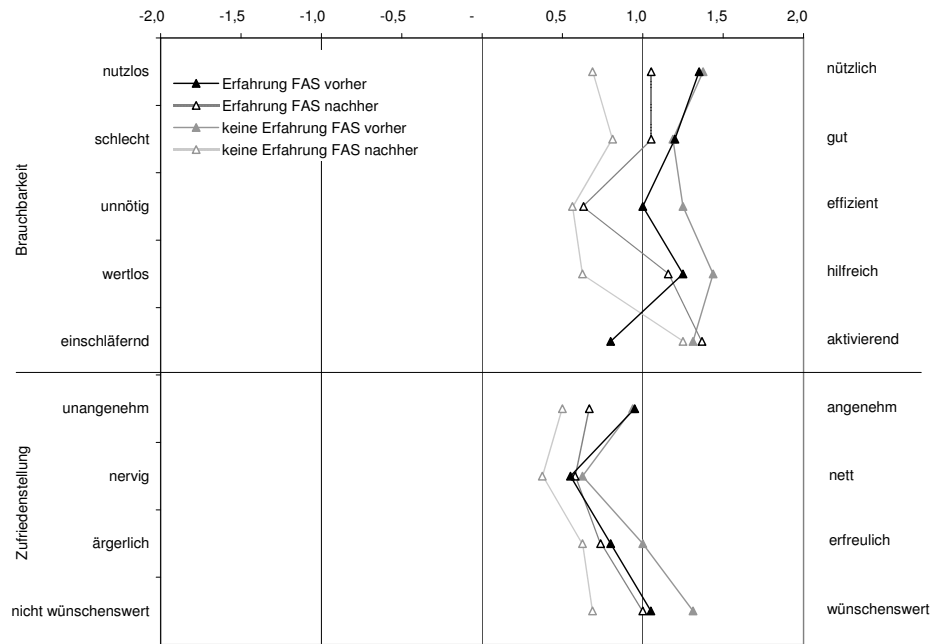


(c) Alle und Frauen

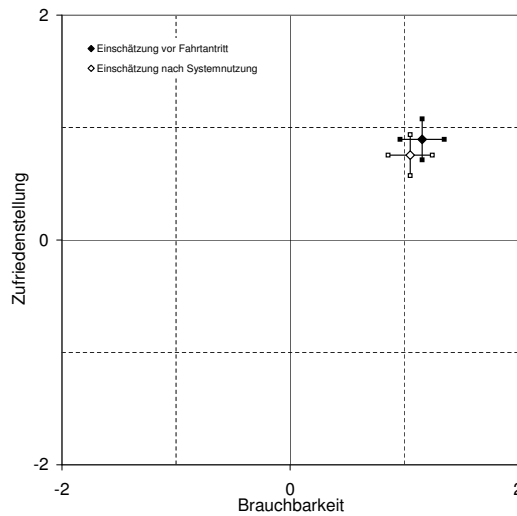
	Vor Fahrtantritt						Nach der Fahrt					
	Brauchbarkeit			Zufriedenstellung			Brauchbarkeit			Zufriedenstellung		
	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI
Alle	1,069	1,229	1,388	0,752	0,929	1,105	0,772	0,931	1,091	0,483	0,659	0,836
Männer	0,917	1,141	1,365	0,736	0,971	1,204	0,741	0,965	1,189	0,462	0,696	0,93
Frauen	1,064	1,311	1,559	0,602	0,889	1,176	0,623	0,9	1,147	0,338	0,625	0,912

(d)

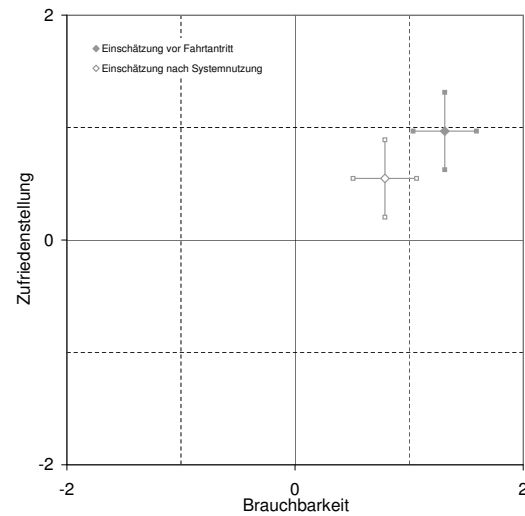
Abbildung E.26.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vorher/ nachher: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.



(a) Einzelfragen



(b) Erfahrung mit FAS

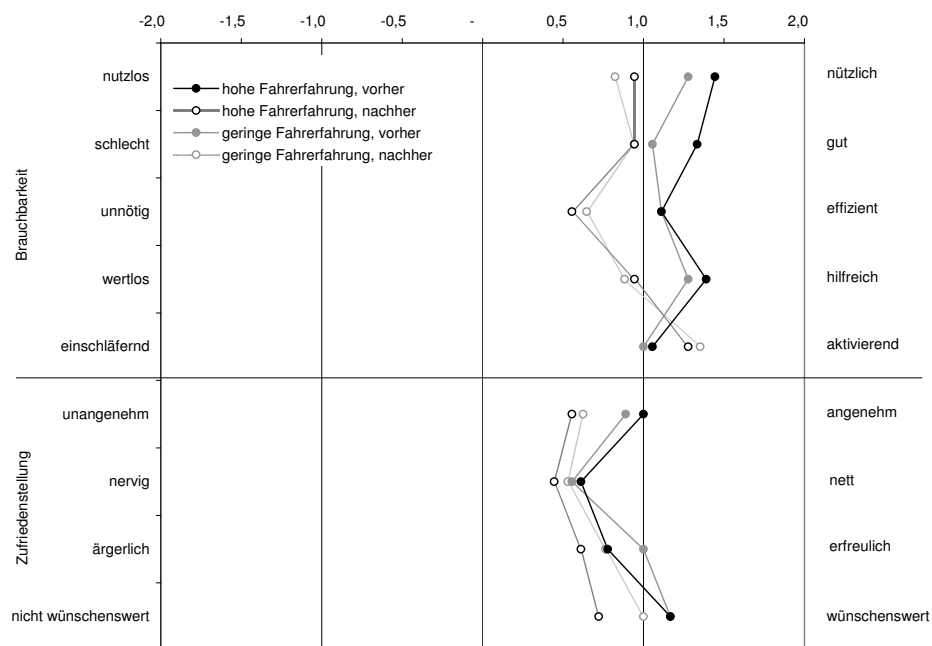


(c) keine Erfahrung mit FAS

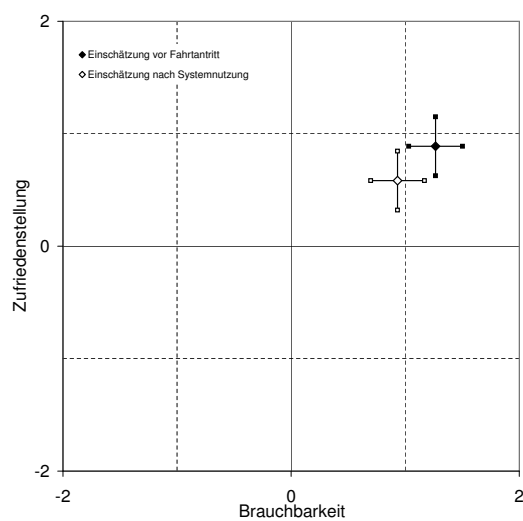
	Vor Fahrtantritt						Nach der Fahrt					
	Brauchbarkeit			Zufriedenstellung			Brauchbarkeit			Zufriedenstellung		
	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI
mit Erf.	1,034	1,313	1,59	0,625	0,967	1,312	0,51	0,788	1,065	0,203	0,547	0,891
ohne Erf.	0,964	1,158	1,352	0,713	0,895	1,08	0,859	1,053	1,256	0,572	0,754	0,733

Abbildung E.27.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.

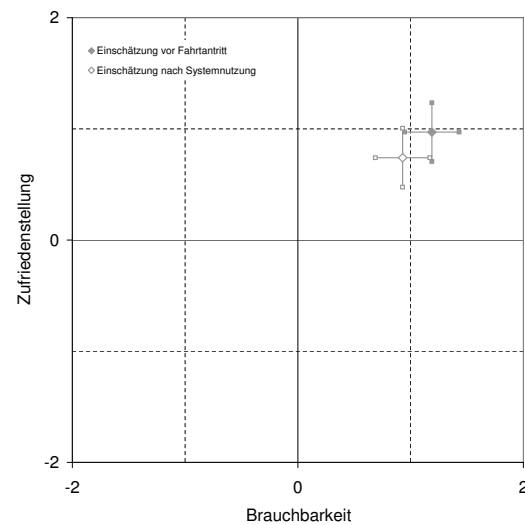
E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung



(a) Einzelfragen



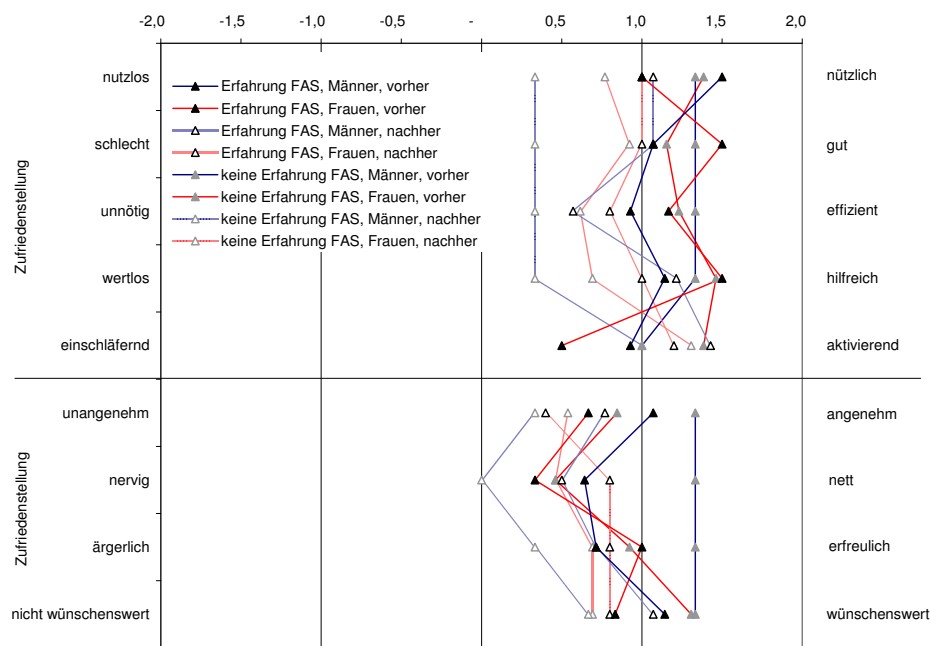
(b) hohe Fahrerfahrung



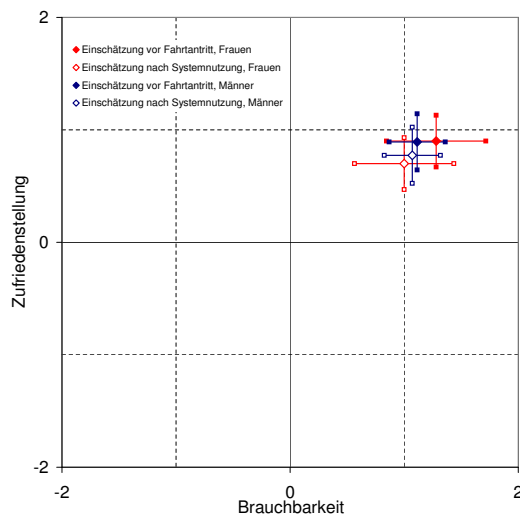
(c) geringe Fahrerfahrung

	Vor Fahrtantritt						Nach der Fahrt					
	Brauchbarkeit			Zufriedenstellung			Brauchbarkeit			Zufriedenstellung		
	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI
hohe Erf.	1,031	1,267	1,502	0,626	0,889	1,151	0,698	0,933	1,169	0,321	0,583	0,846
geringe Erf.	0,947	1,188	1,430	0,706	0,971	1,235	0,688	0,929	1,171	0,476	0,740	1,005

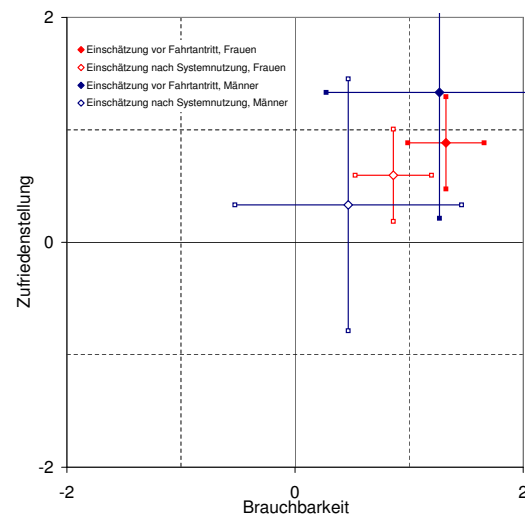
Abbildung E.28.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Speed Limit Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.



(a) Einzelfragen



(b) Erfahrung mit FAS

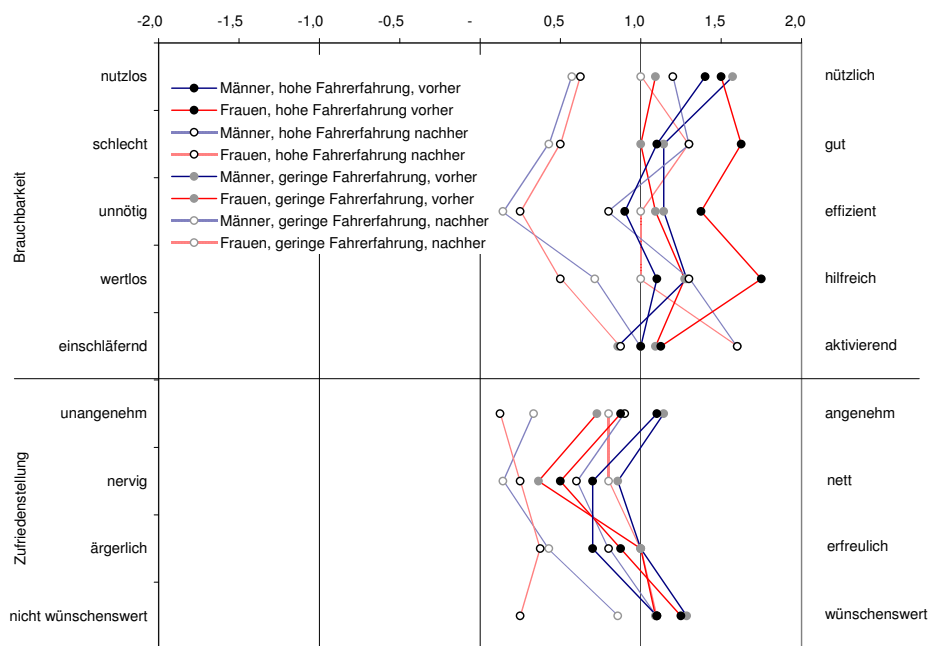


(c) keine Erfahrung mit FAS

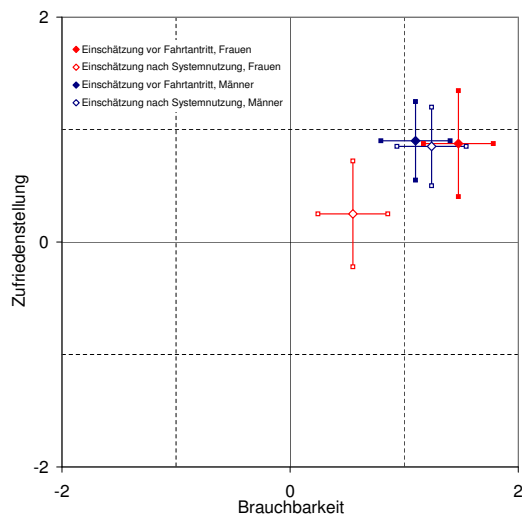
	Vor Fahrtantritt						Nach der Fahrt					
	Brauchbarkeit			Zufriedenstellung			Brauchbarkeit			Zufriedenstellung		
	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI
M. mit Erf.	0,868	1,114	1,361	0,643	0,893	1,142	0,825	1,071	1,312	0,524	0,774	1,023
M. ohne Erf.	0,273	1,277	>2	0,214	1,333	>2	-0,537	0,467	1,430	-0,786	0,333	1,453
F. mit Erf.	0,845	1,280	1,715	0,670	0,900	1,130	0,565	1,000	1,435	0,470	0,700	0,930
F. ohne Erf.	0,988	1,323	1,628	0,475	0,885	1,295	0,527	0,862	1,197	0,186	0,596	1,006

Abbildung E.29.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle. 243

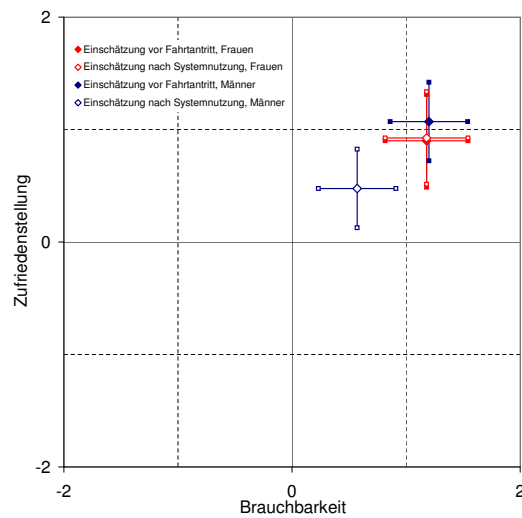
E. Auswertung der Fragebögen zur Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung



(a) Einzelfragen



(b) hohe Fahrerfahrung



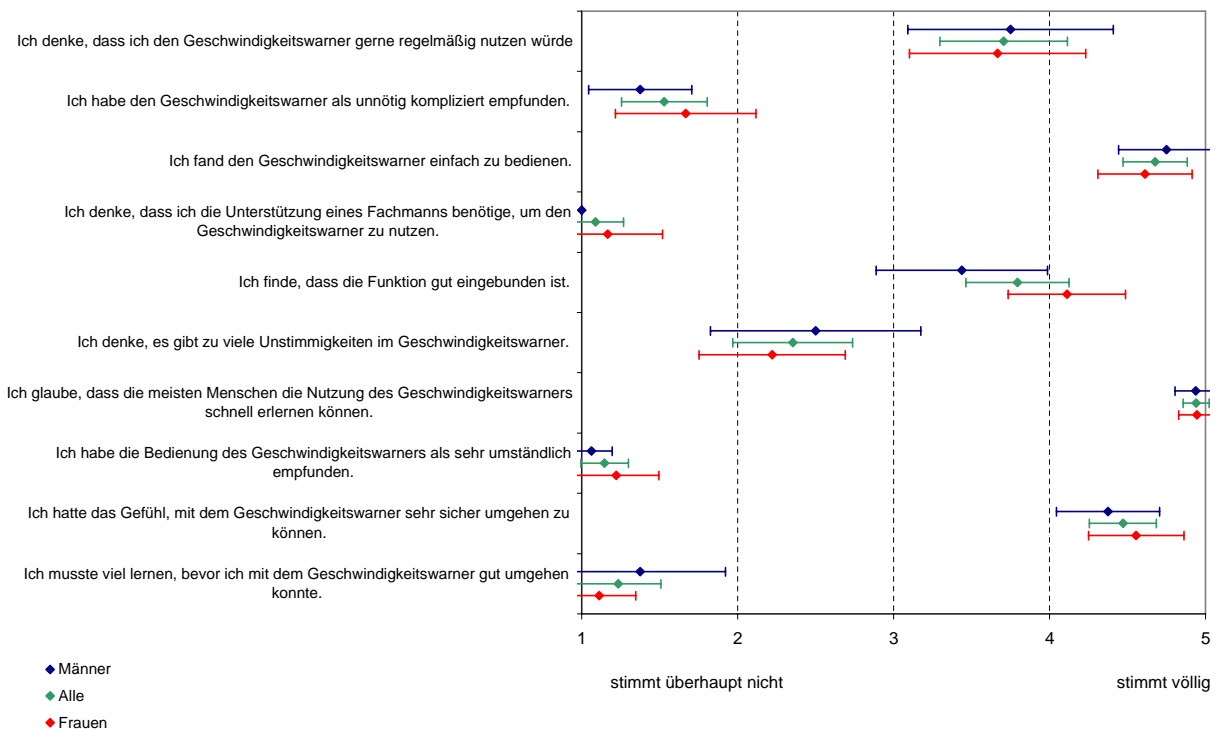
(c) geringe Fahrerfahrung

	Vor Fahrtantritt						Nach der Fahrt					
	Brauchbarkeit			Zufriedenstellung			Brauchbarkeit			Zufriedenstellung		
	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI	CI	\bar{x}	CI
M. hohe Erf.	0,796	1,100	1,404	0,550	0,900	1,250	0,936	1,240	1,545	0,500	0,850	1,200
M. ger. Erf.	0,860	1,200	1,540	0,722	1,071	1,421	0,232	0,571	0,911	0,127	0,476	0,825
F. hohe Erf.	1,169	1,475	1,781	0,404	0,875	1,346	0,244	0,550	0,856	-0,221	0,250	0,721
F. ger. Erf.	0,817	1,180	1,544	0,488	0,900	1,312	0,817	1,180	1,543	0,513	0,925	1,337

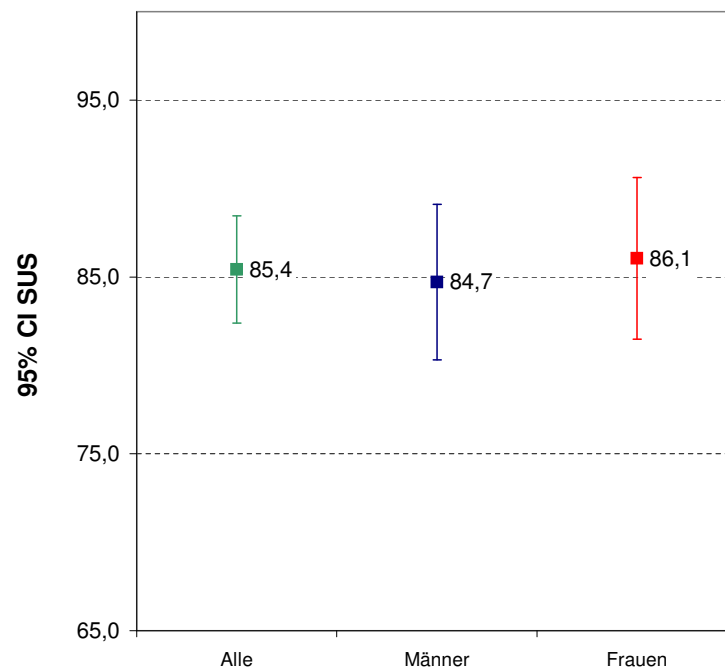
Abbildung E.30.: Brauchbarkeit/ Zufriedenstellung der Hot Spot Warning vorher/ nachher: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung der vergangenen zwölf Monate. Die Fehlerbalken der Abbildungen (b) und (c) repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall CI aus der Tabelle.

F. Auswertung der Fragebogen zur Gebrauchstauglichkeit

F. Auswertung der Fragebogen zur Gebrauchstauglichkeit

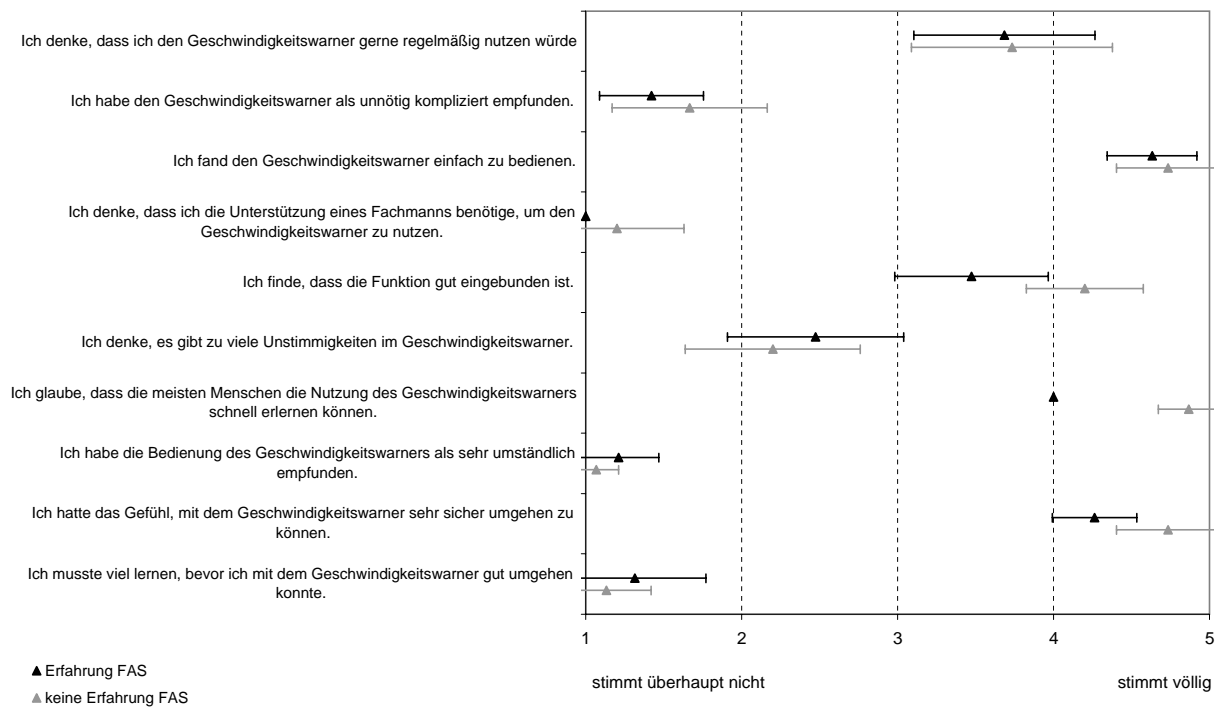


(a) Einzelfragen

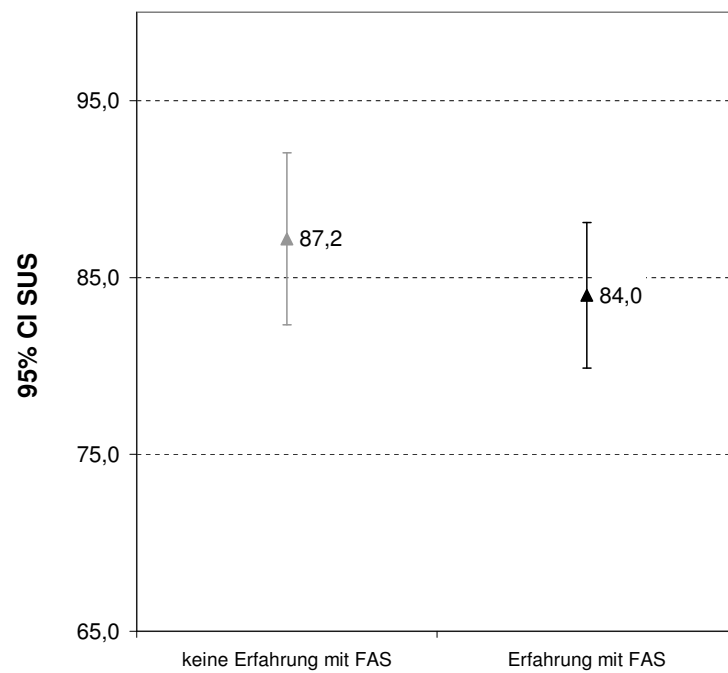


(b) Gesamtbewertung

Abbildung F.1.: Gebrauchstauglichkeit der Speed Limit Warning: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.



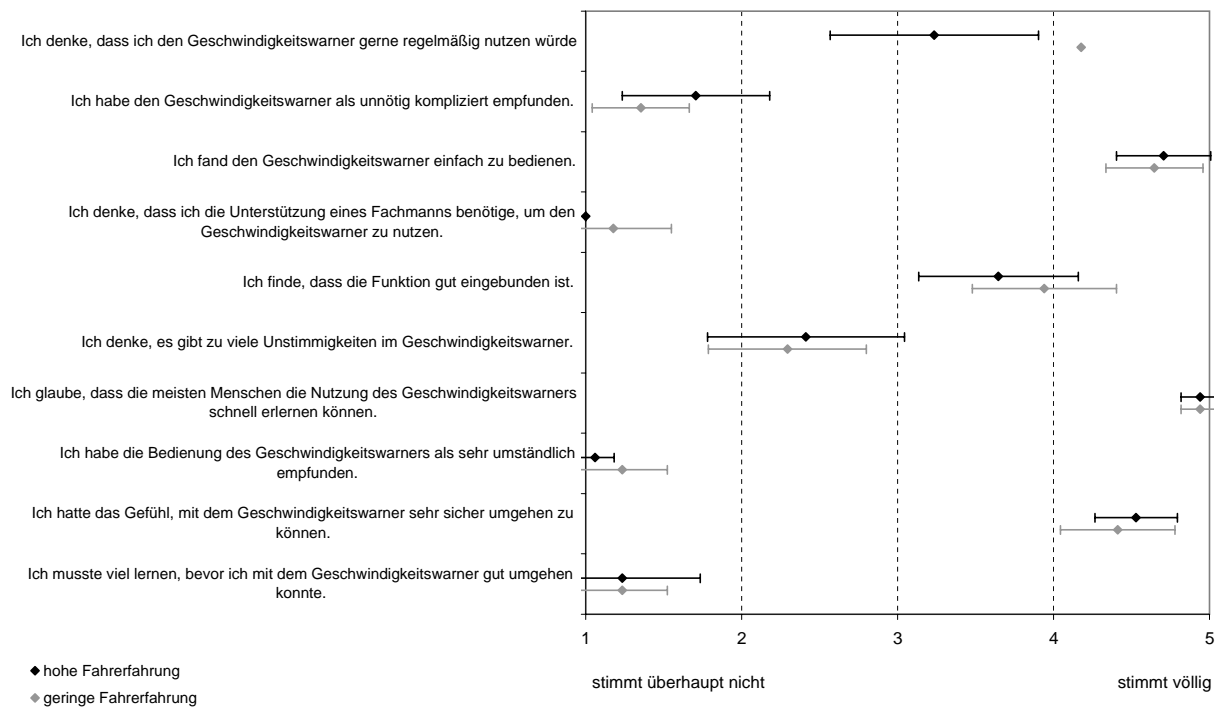
(a) Einzelfragen



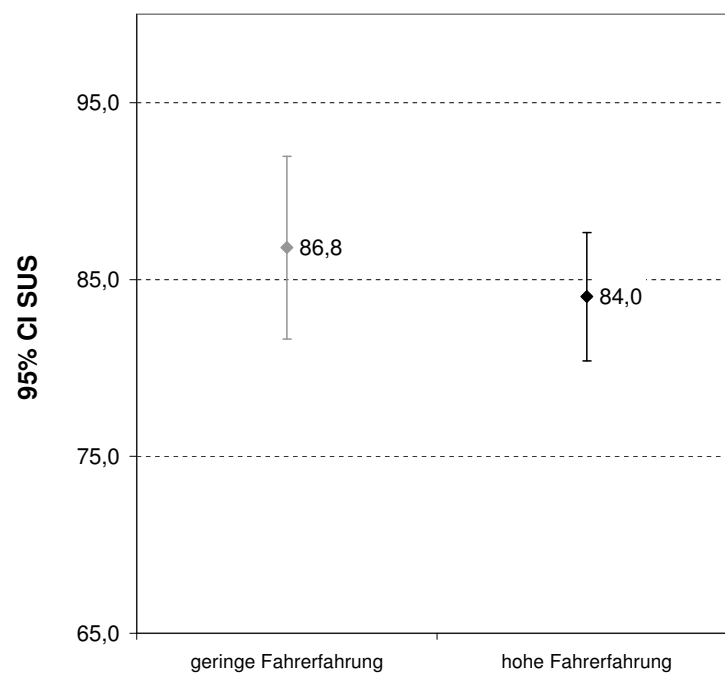
(b) Gesamtbewertung

Abbildung F.2.: Gebrauchstauglichkeit der Speed Limit Warning: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.

F. Auswertung der Fragebogen zur Gebrauchstauglichkeit

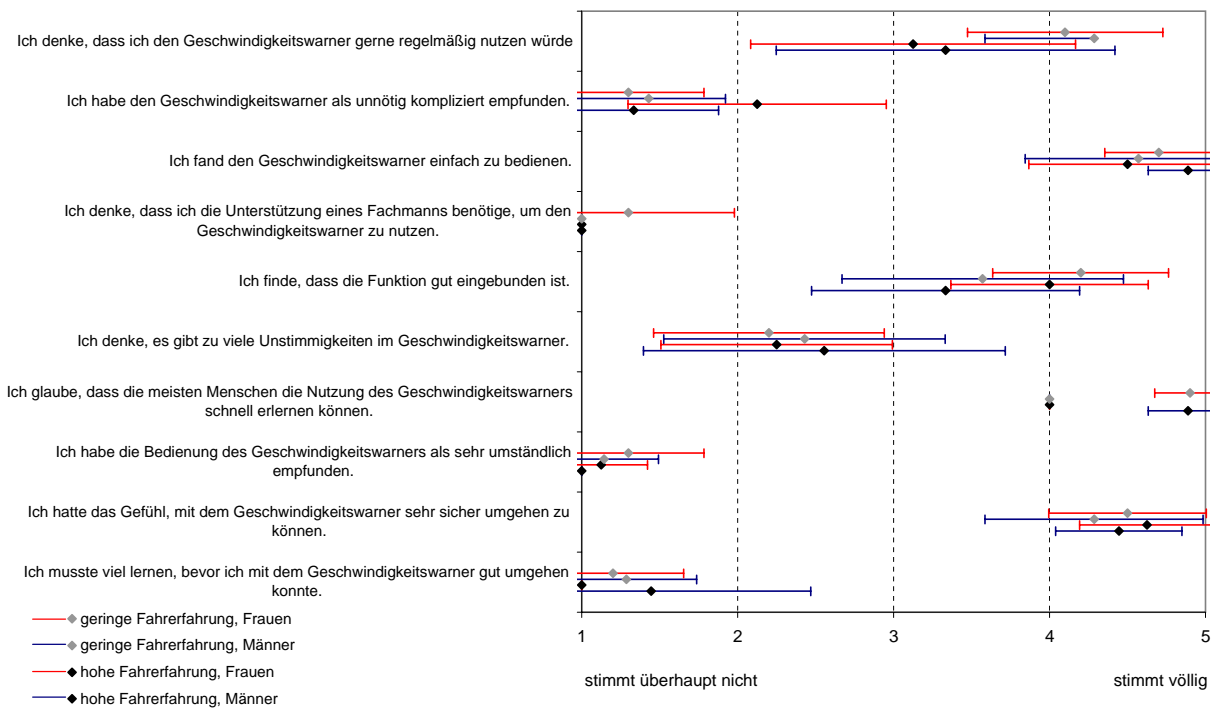


(a) Einzelfragen

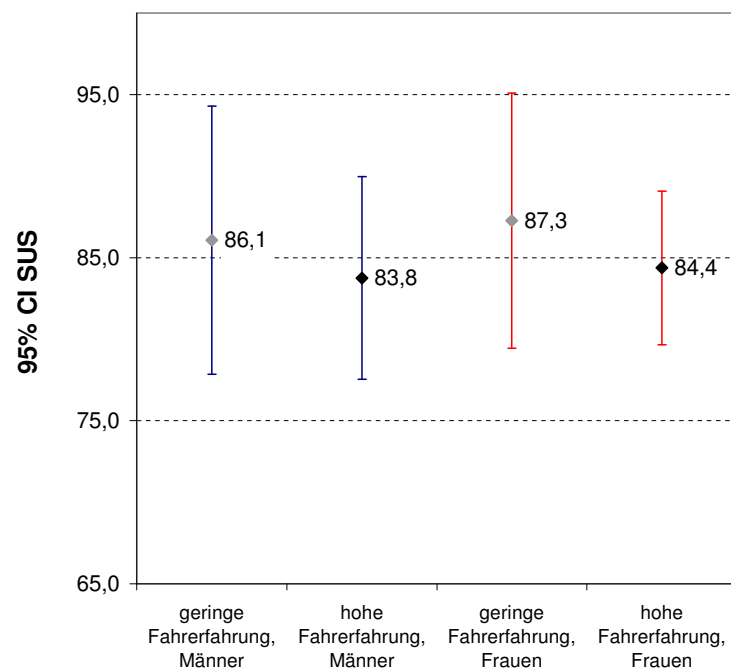


(b) Gesamtbewertung

Abbildung F.3.: Gebrauchstauglichkeit der Speed Limit Warning: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.



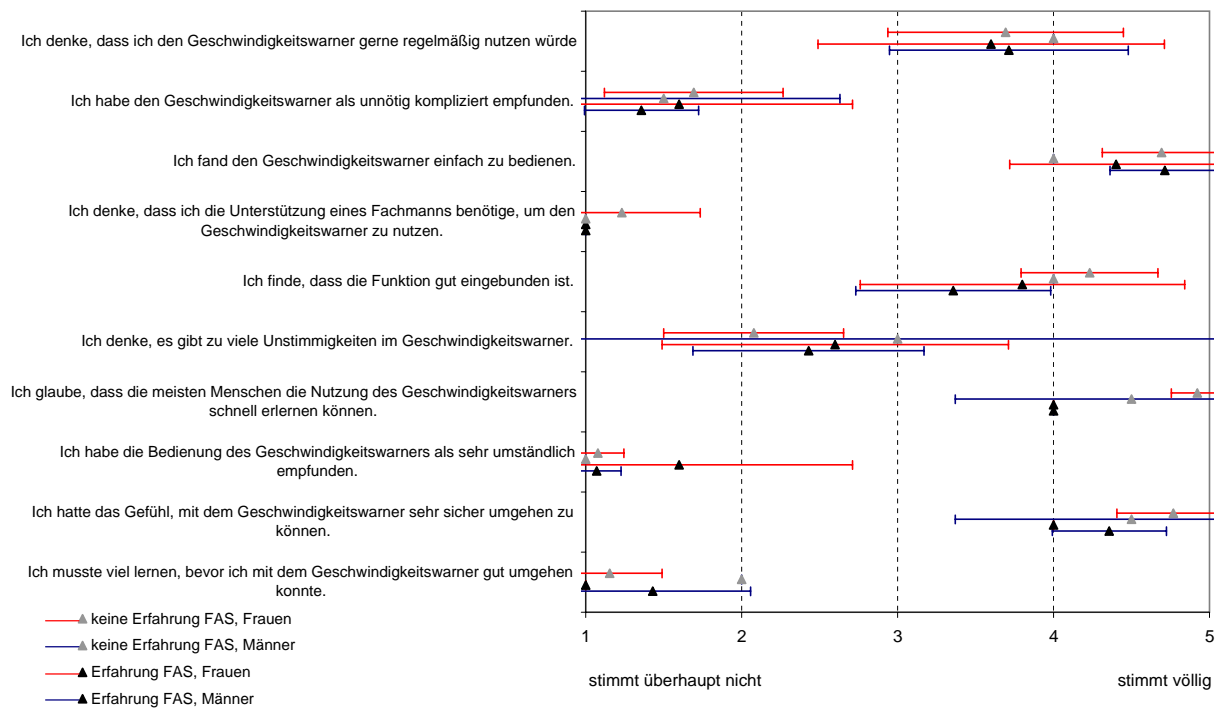
(a) Einzelfragen



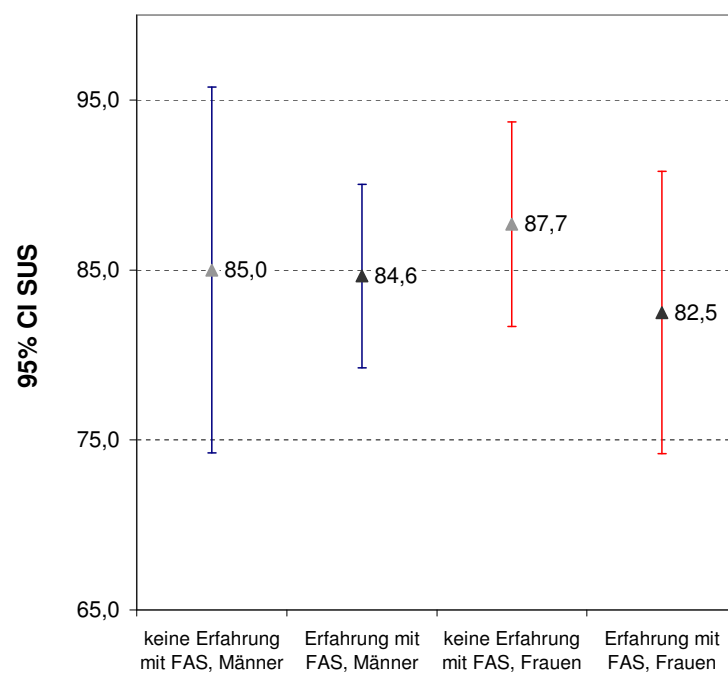
(b) Gesamtbewertung

Abbildung F.4.: Gebrauchstauglichkeit der Speed Limit Warning: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.

F. Auswertung der Fragebogen zur Gebrauchstauglichkeit

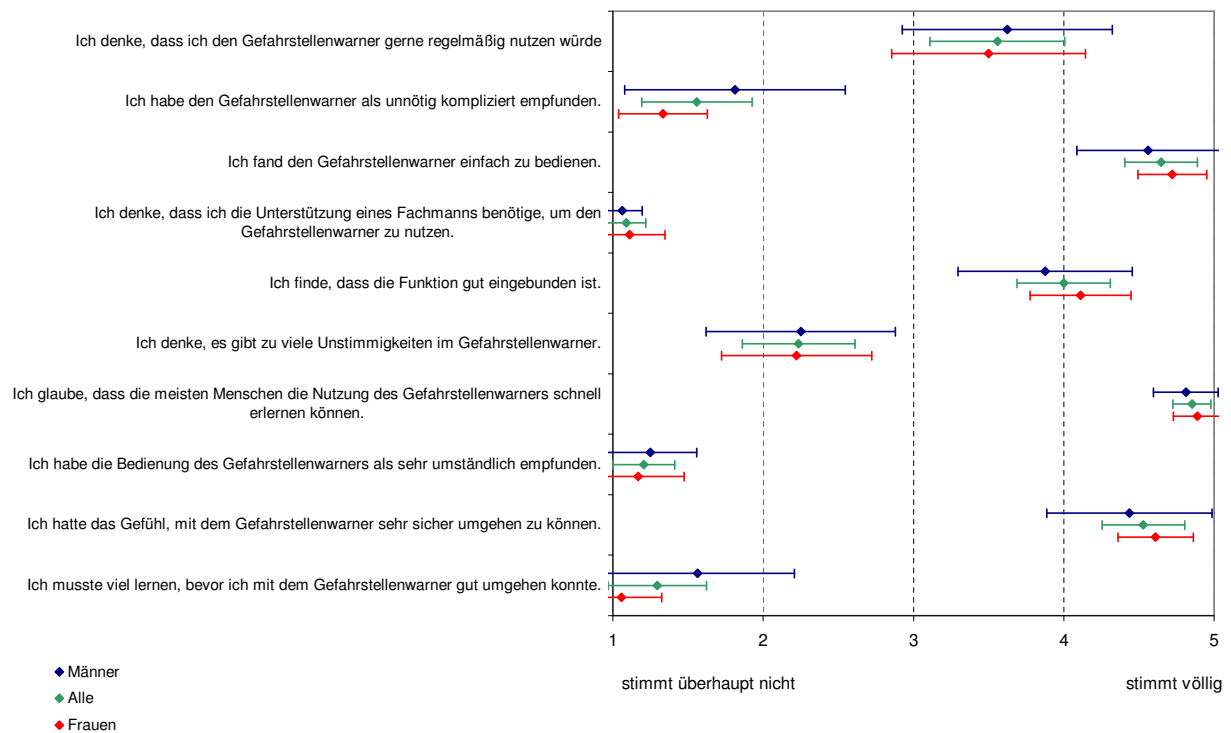


(a) Einzelfragen

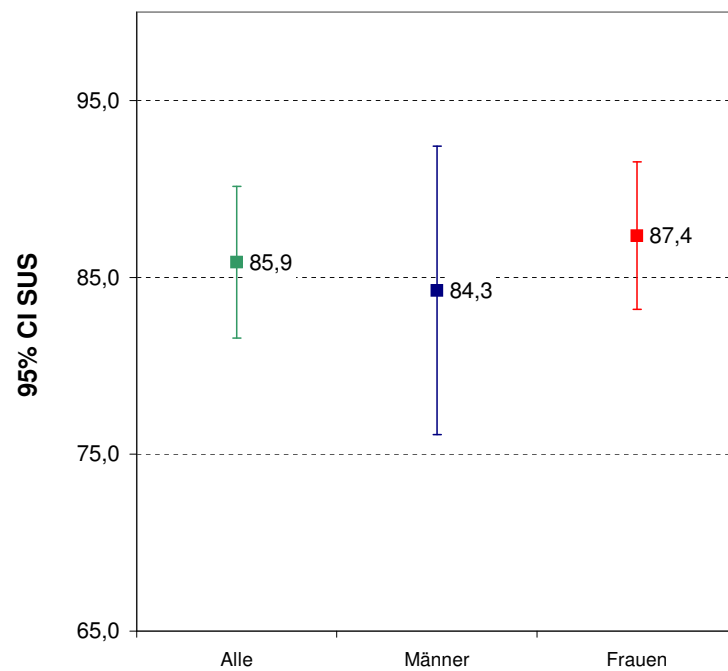


(b) Gesamtbewertung

Abbildung F.5.: Gebrauchstauglichkeit der Speed Limit Warning: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht mit der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.



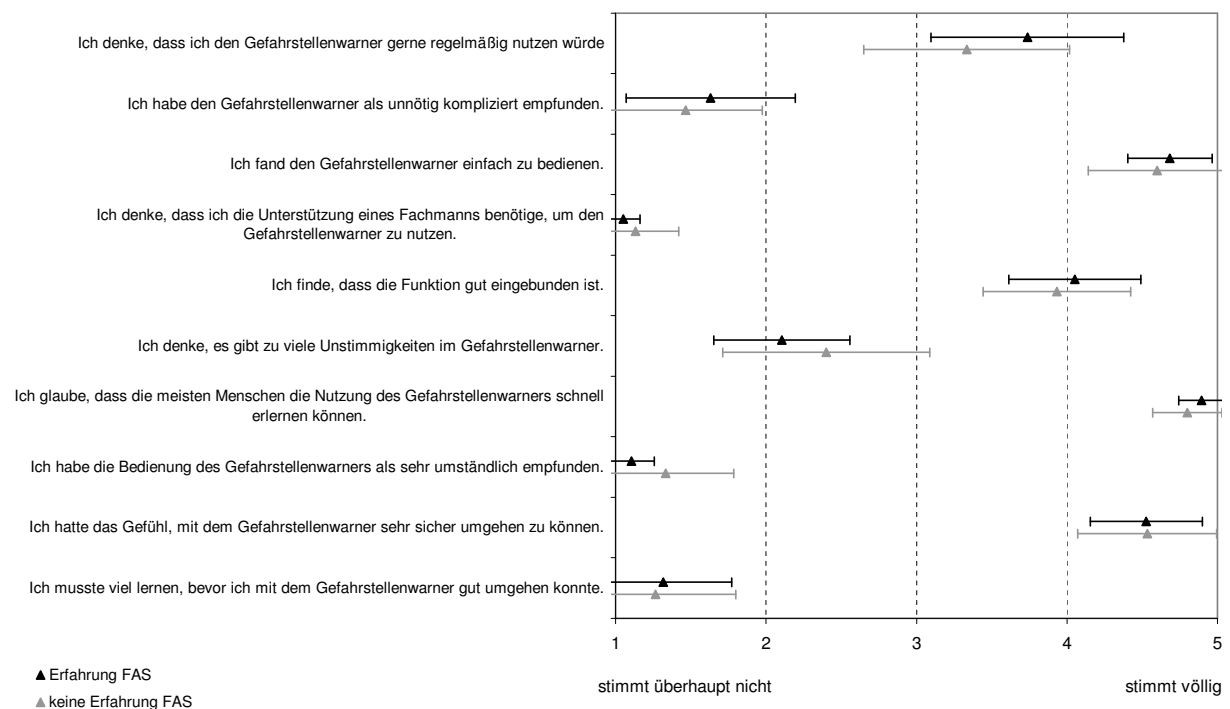
(a) Einzelfragen



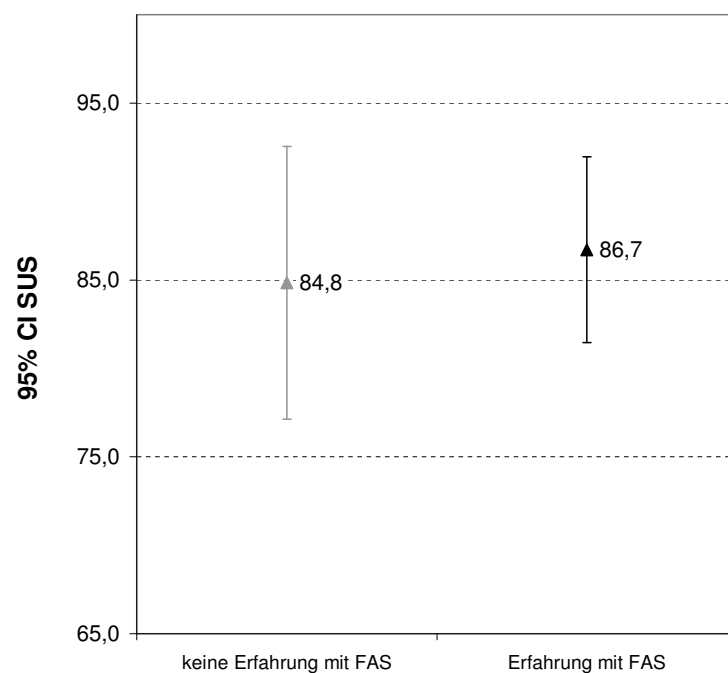
(b) Gesamtbewertung

Abbildung F.6.: Gebrauchstauglichkeit der Hot Spot Warning: Auswertung nach Geschlecht. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.

F. Auswertung der Fragebogen zur Gebrauchstauglichkeit

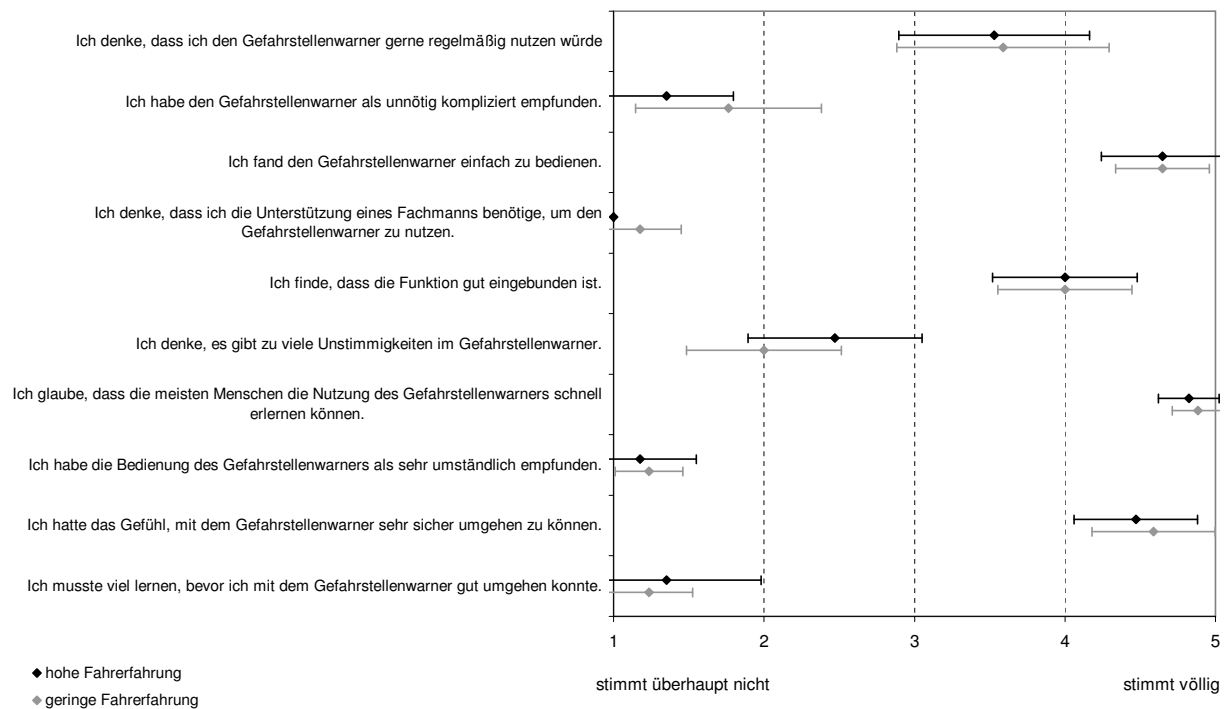


(a) Einzelfragen

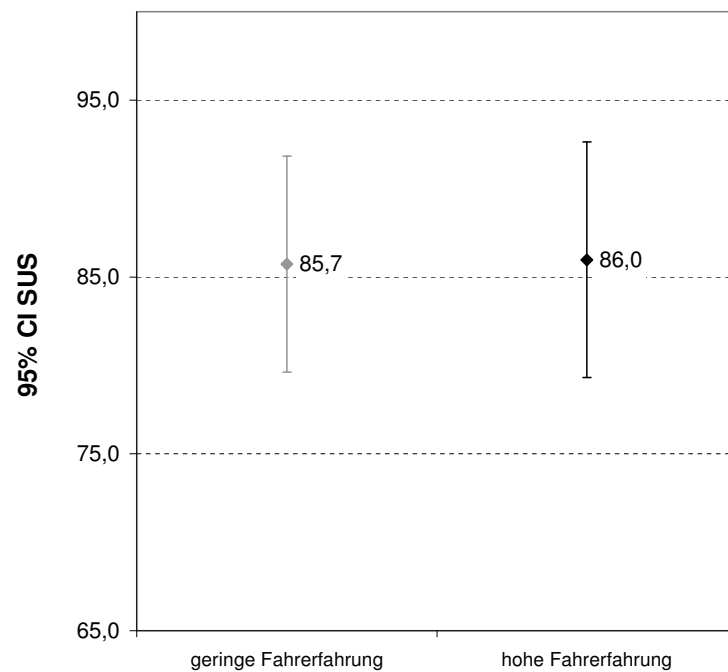


(b) Gesamtbewertung

Abbildung F.7.: Gebrauchstauglichkeit der Hot Spot Warning: Auswertung nach der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.



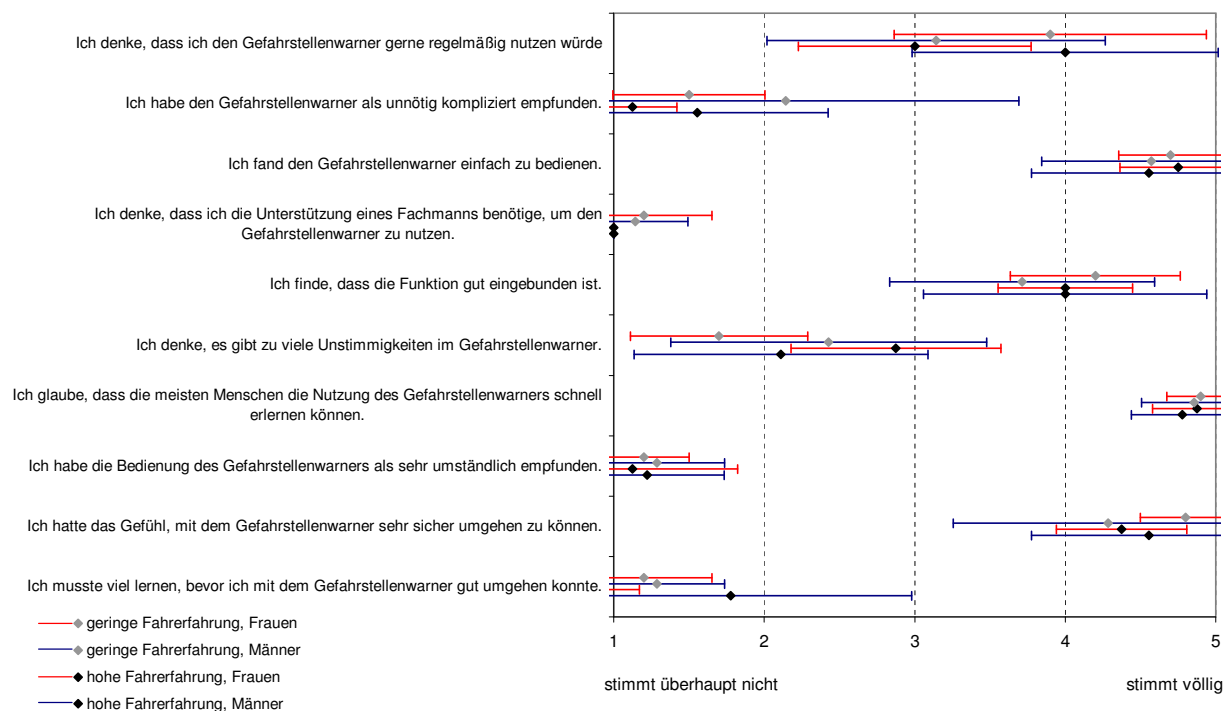
(a) Einzelfragen



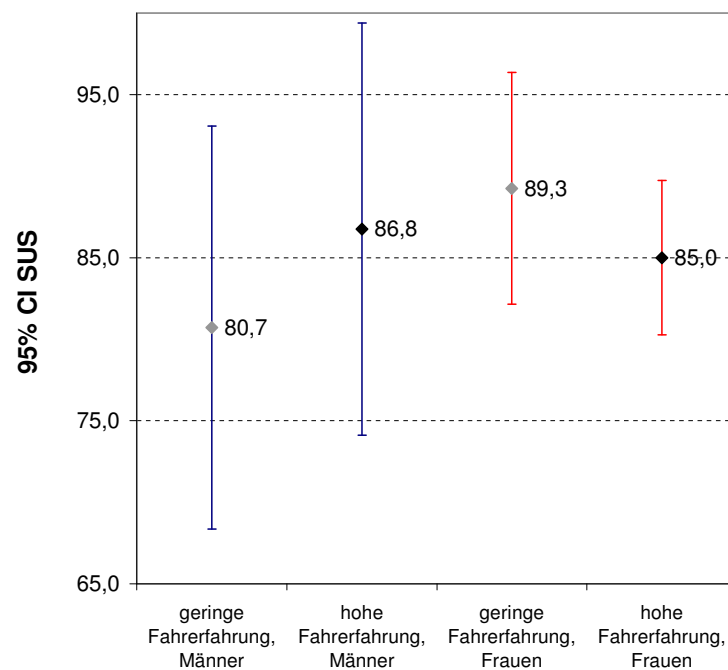
(b) Gesamtbewertung

Abbildung F.8.: Gebrauchstauglichkeit der Hot Spot Warning: Auswertung nach der Störgröße Fahrerfahrung. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.

F. Auswertung der Fragebogen zur Gebrauchstauglichkeit

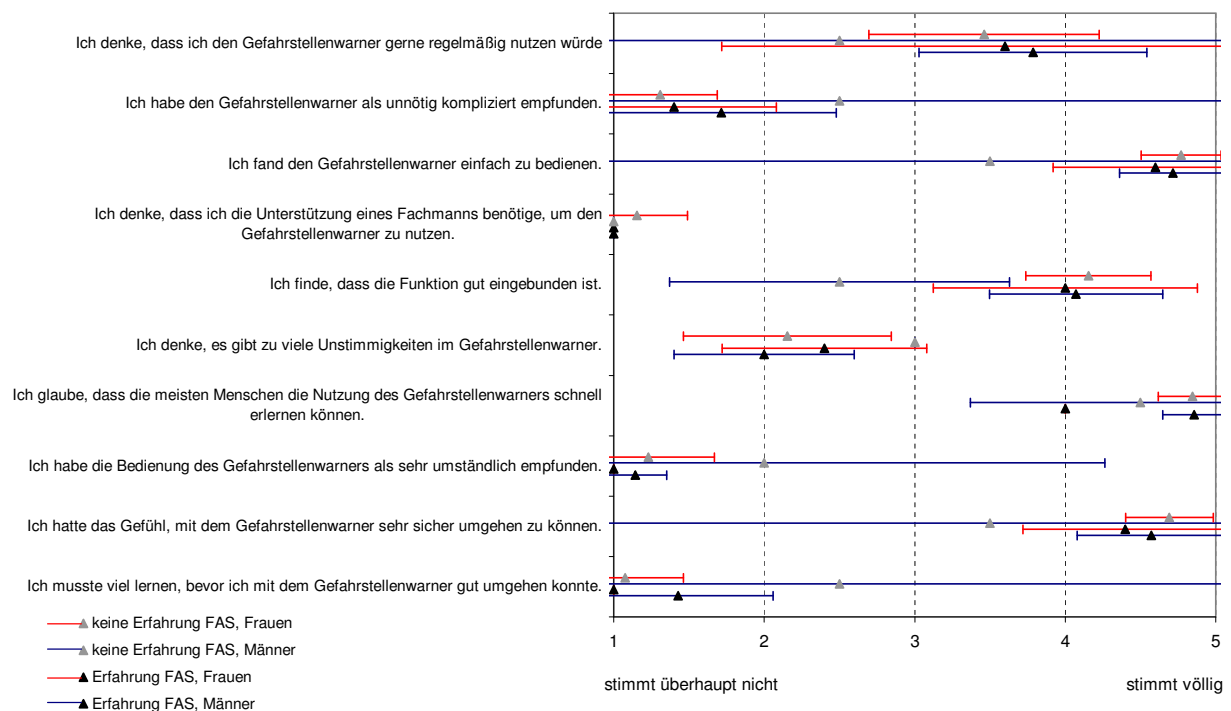


(a) Einzelfragen

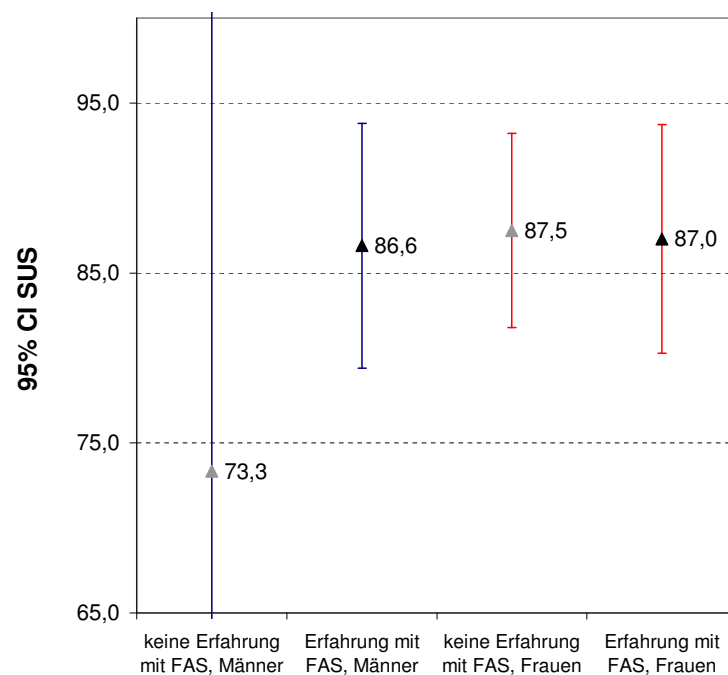


(b) Gesamtbewertung

Abbildung F.9.: Gebrauchstauglichkeit der Hot Spot Warning: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht und der Störgröße Fahrerfahrung. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.



(a) Einzelfragen



(b) Gesamtbewertung

Abbildung F.10.: Gebrauchstauglichkeit der Hot Spot Warning: Auswertung nach der Kombination von Geschlecht mit der Störgröße Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen/ Fahrerinformationssystemen. Die Fehlerbalken repräsentieren das jeweilige 95%-Konfidenzintervall.

G. Mittlere Geschwindigkeiten

Tabelle G.1.: Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der mittleren Geschwindigkeiten von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in den Runden und Sektionen.

	Alle Probanden			Kontrollgruppe			Untersuchungsgruppe		
	N	D	α	N	D	α	N	D	α
Runde 1 Gesamt	62	0,066	n. s.	29	0,124	n. s.	33	0,106	n. s.
Runde 1 Sektion 1	62	0,079	n. s.	29	0,108	n. s.	33	0,139	n. s.
Runde 1 Sektion 2	62	0,126	n. s.	29	0,2	n. s.	33	0,075	n. s.
Runde 1 Sektion 3	63	0,068	n. s.	29	0,1	n. s.	34	0,122	n. s.
Runde 1 Sektion 4	61	0,067	n. s.	27	0,121	n. s.	34	0,098	n. s.
Runde 2 Gesamt	64	0,089	n. s.	29	0,115	n. s.	35	0,16	n. s.
Runde 2 Sektion 1	64	0,078	n. s.	29	0,141	n. s.	35	0,119	n. s.
Runde 2 Sektion 2	64	0,118	n. s.	29	0,13	n. s.	35	0,152	n. s.
Runde 2 Sektion 3	64	0,106	n. s.	29	0,143	n. s.	35	0,139	n. s.
Runde 2 Sektion 4	63	0,105	n. s.	28	0,112	n. s.	35	0,137	n. s.

Tabelle G.2.: Vergleich der Geschwindigkeiten zwischen Runde 1 und Runde 2 der Kontrollgruppe.

Testfahrt	Mittlere Geschwindigkeiten		Mann-Whitney-U	Z	Effektgröße r	Signifikanz
	Runde 1	Runde 2				
061208	65,8	69,8	46750764	-14,695	-0,102	$\alpha < 0,001$
061210	57,3	59,9	369723496	-16,428	-0,069	$\alpha < 0,001$
061217	58,8	66,7	146100281	-24,234	-0,124	$\alpha < 0,001$
070104	65,0	64,5	135672869	-3,594	-0,020	$\alpha < 0,001$
070106	69,0	68,2	78280474	-4,013	-0,025	$\alpha < 0,001$
070108	61,6	62,9	201702683	-6,290	-0,031	$\alpha < 0,001$
070109	66,4	64,9	78996721	-5,976	-0,037	$\alpha < 0,001$
070112	66,1	67,4	90181558	-6,923	-0,042	$\alpha < 0,001$
070116	72,6	78,6	51731781	-21,402	-0,143	$\alpha < 0,001$
070117	66,4	58,9	86830131	-18,427	-0,099	$\alpha < 0,001$
070118	65,5	67,6	71453572	-12,172	-0,076	$\alpha < 0,001$
070120	64,6	65,7	109326919	-6,634	-0,038	$\alpha < 0,001$
070124	63,7	65,5	156965750	-10,964	-0,057	$\alpha < 0,001$
070126	75,2	74,9	61991959	-2,327	-0,015	$\alpha < 0,05$
070127	66,6	68,3	116591337	-9,865	-0,055	$\alpha < 0,001$
070210	62,8	67,1	91727998	-22,726	-0,130	$\alpha < 0,001$
070218	57,4	59,6	328536282	-16,232	-0,070	$\alpha < 0,001$
070220	65,2	66,9	229650322	-6,893	-0,033	$\alpha < 0,001$
070222	59,6	60,3	222498974	-12,205	-0,058	$\alpha < 0,001$
070226	64,3	65,6	239159971	-10,203	-0,048	$\alpha < 0,001$
070304	64,3	64,1	157550183	-1,239	-0,007	n. s.
070305	60,9	60,9	269934294	-0,689	-0,003	n. s.
070310	57,1	60,5	317799765	-25,740	-0,111	$\alpha < 0,001$
070314	67,2	69,8	180897467	-12,312	-0,062	$\alpha < 0,001$
070316	63,5	63,2	226081993	-3,434	-0,017	$\alpha < 0,001$

Tabelle G.3.: Vergleich der Geschwindigkeiten zwischen Runde 1 und Runde 2 der Untersuchungsgruppe.

Testfahrt	Mittlere Geschwindigkeiten		Mann-Whitney-U	Z	Effektgröße r	Signifikanz
	Runde 1	Runde 2				
061207	66,8	61,4	72971364	-25,305	-0,154	$\alpha < 0,001$
061218	59,3	60,0	222149958	-4,424	-0,021	$\alpha < 0,001$
061219	62,4	63,9	166607507	-5,731	-0,029	$\alpha < 0,001$
070110	67,2	63,8	101591983	-14,755	-0,085	$\alpha < 0,001$
070111	64,9	60,9	121102919	-29,719	-0,158	$\alpha < 0,001$
070113	67,8	64,9	159588638	-17,594	-0,090	$\alpha < 0,001$
070114	60,9	61,1	322418625	-4,916	-0,022	$\alpha < 0,001$
070115	65,1	61,1	179806891	-26,240	-0,129	$\alpha < 0,001$
070128	62,9	63,5	254465432	-2,340	-0,011	$\alpha < 0,05$
070131	68,2	67,4	109332943	-5,198	-0,030	$\alpha < 0,001$
070204	59,1	59,6	380786752	-1,381	-0,006	n. s.
070208	63,4	62,7	183235561	-2,749	-0,014	$\alpha < 0,001$
070212	72,1	74,5	103268599	-7,748	-0,045	$\alpha < 0,001$
070214	70,1	68,9	129469145	-6,329	-0,035	$\alpha < 0,001$
070216	64,2	63,4	172007604	-8,901	-0,045	$\alpha < 0,001$
070217	68,0	62,6	81416187	-24,158	-0,140	$\alpha < 0,001$
070225	71,7	73,4	76814189	-5,368	-0,034	$\alpha < 0,001$
070228	61,0	59,1	231436530	-13,442	-0,063	$\alpha < 0,001$
070303	64,4	63,9	202138094	-5,562	-0,027	$\alpha < 0,001$
070308	66,6	60,0	200323257	-41,923	-0,195	$\alpha < 0,001$
070309	62,5	62,5	183788369	-2,869	-0,015	$\alpha < 0,01$
070315	60,4	62,2	217335979	-9,414	-0,045	$\alpha < 0,001$
070323	57,8	57,4	203481353	-0,355	-0,002	n. s.
070331	61,8	58,6	259633795	-24,678	-0,112	$\alpha < 0,001$
070402	62,5	67,6	115630612	-22,256	-0,123	$\alpha < 0,001$
070403	57,3	63,7	175003603	-26,649	-0,130	$\alpha < 0,001$
070404	60,0	57,5	346294312	-20,648	-0,088	$\alpha < 0,001$

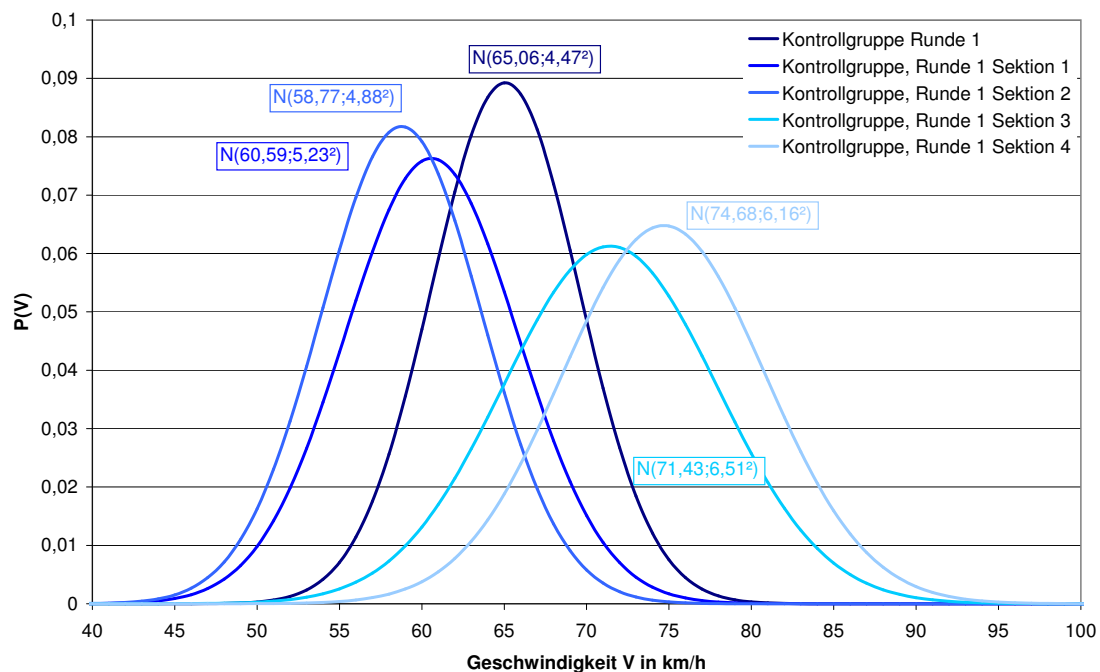


Abbildung G.1.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung der Kontrollgruppe in Runde 1 und den Sektionen 1 bis 4 der Teststrecke. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

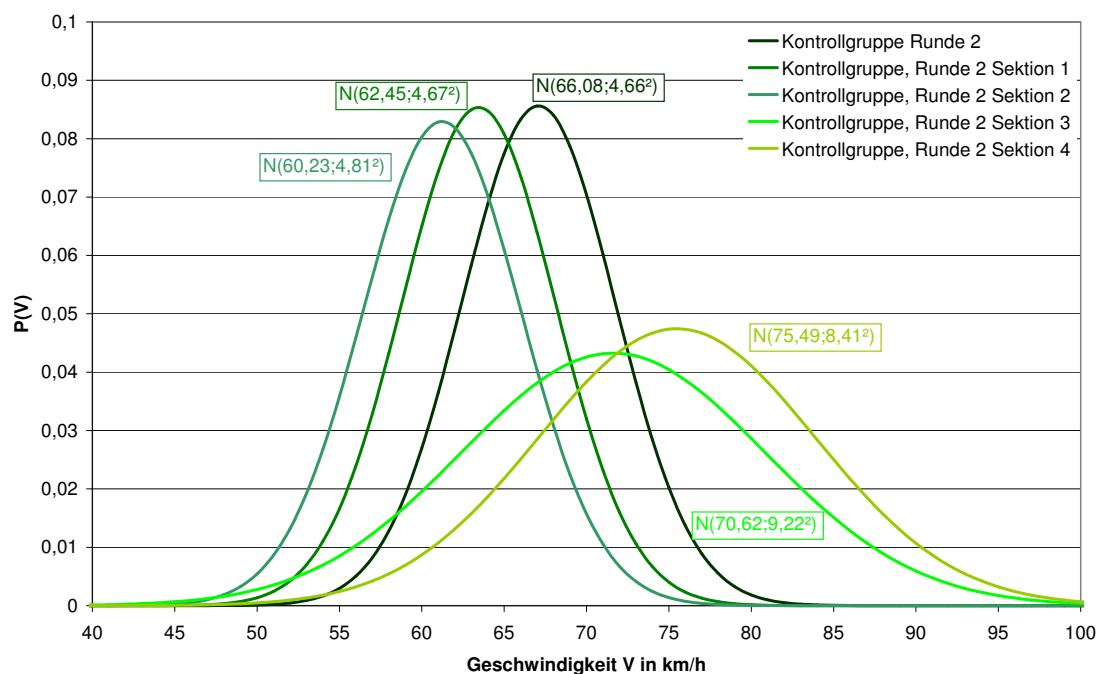


Abbildung G.2.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung der Kontrollgruppe in Runde 2 und den Sektionen 1 bis 4 der Teststrecke. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

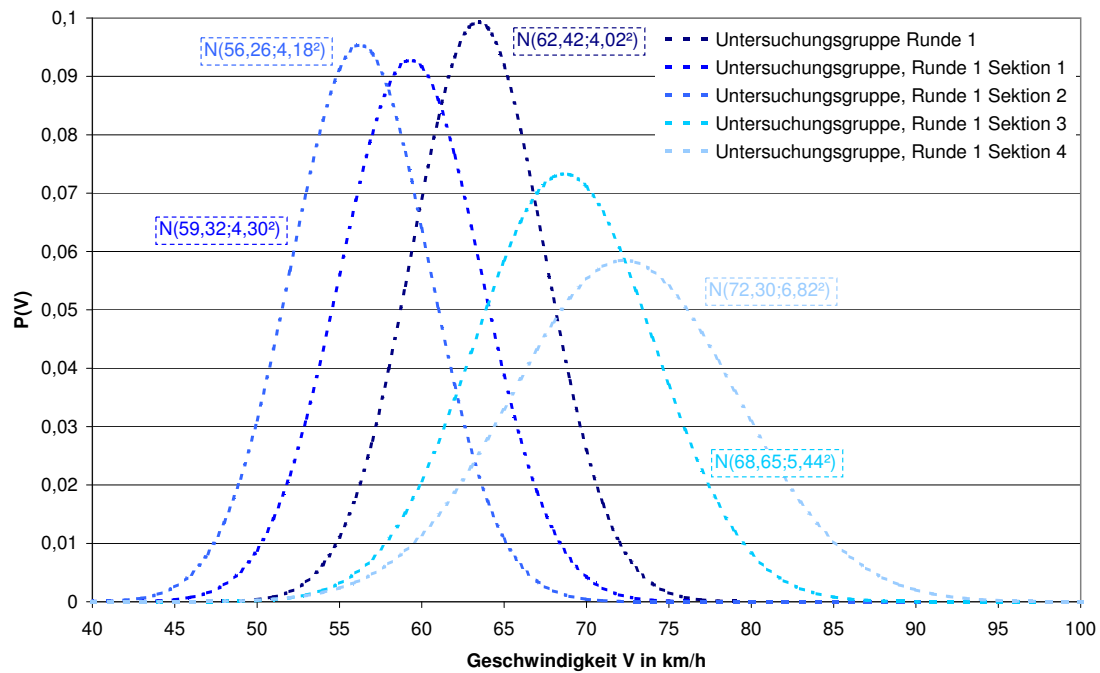


Abbildung G.3.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung der Untersuchungsgruppe in Runde 1 und den Sektionen 1 bis 4 der Teststrecke. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

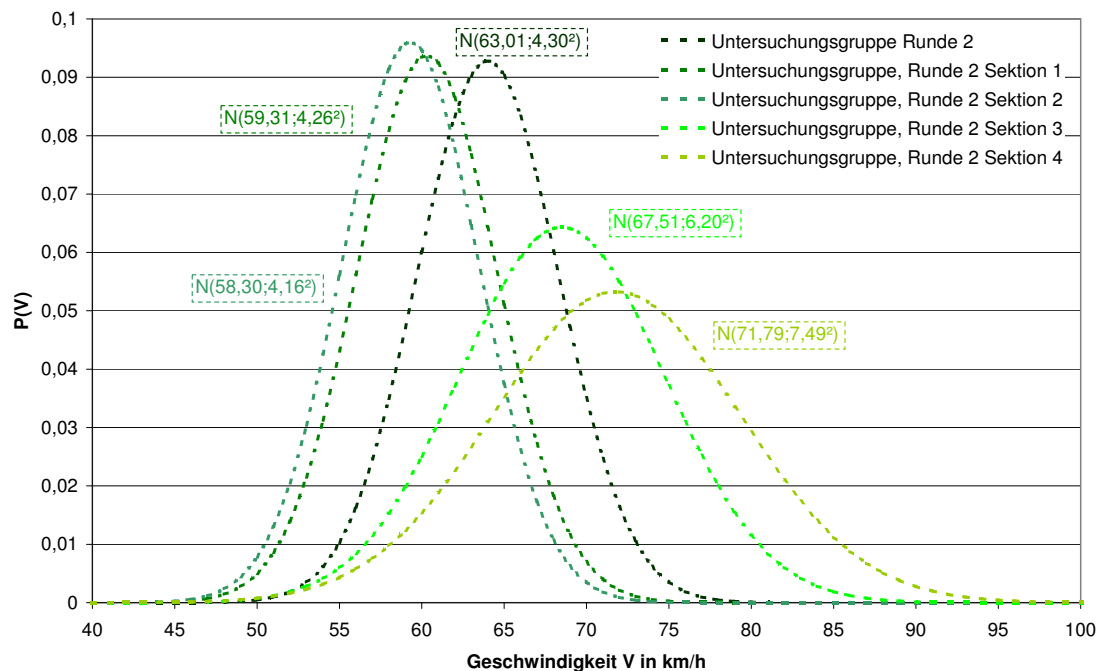


Abbildung G.4.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung der Untersuchungsgruppe in Runde 2 und den Sektionen 1 bis 4 der Teststrecke. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

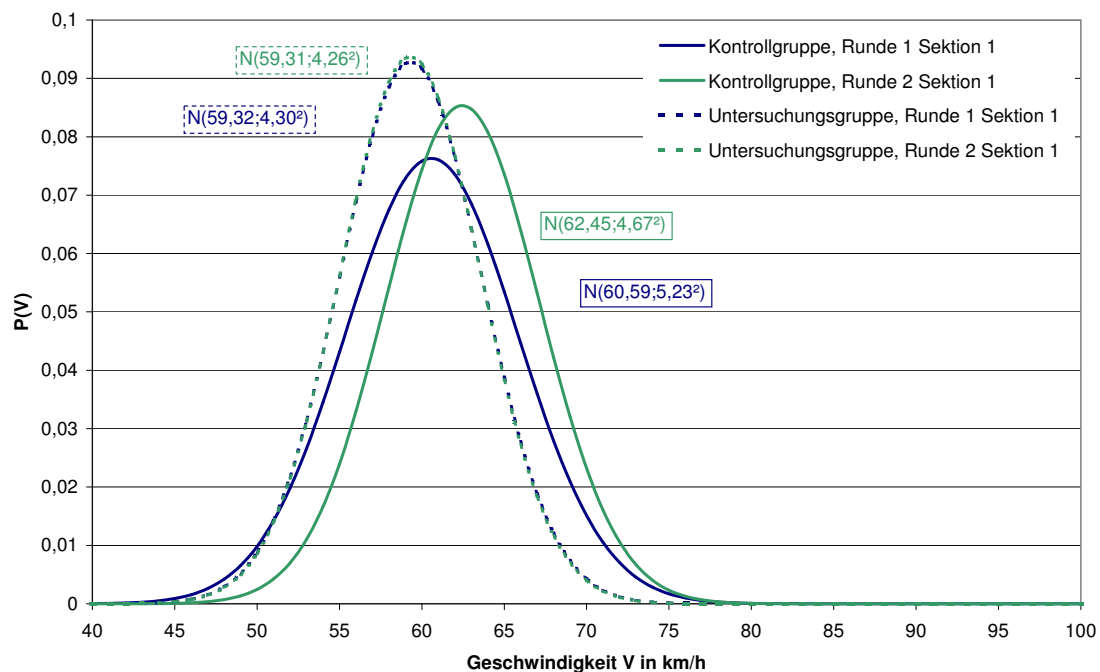


Abbildung G.5.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe der Runden 1 und 2 in Sektion 1. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

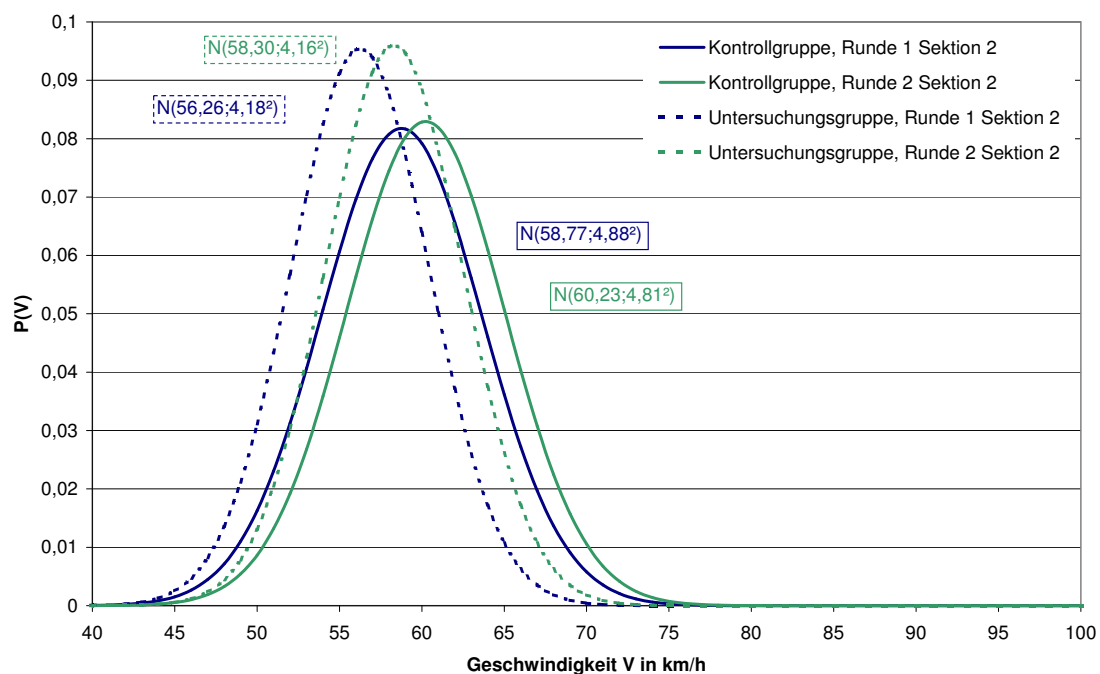


Abbildung G.6.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe der Runden 1 und 2 in Sektion 2. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

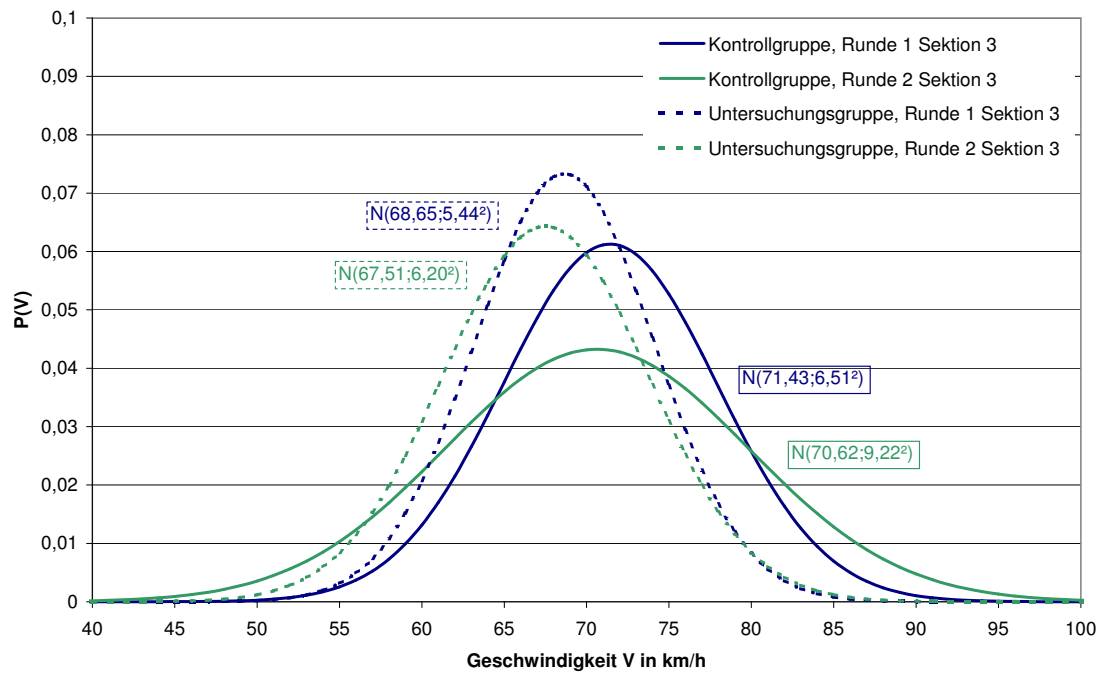


Abbildung G.7.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe der Runden 1 und 2 in Sektion 3. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

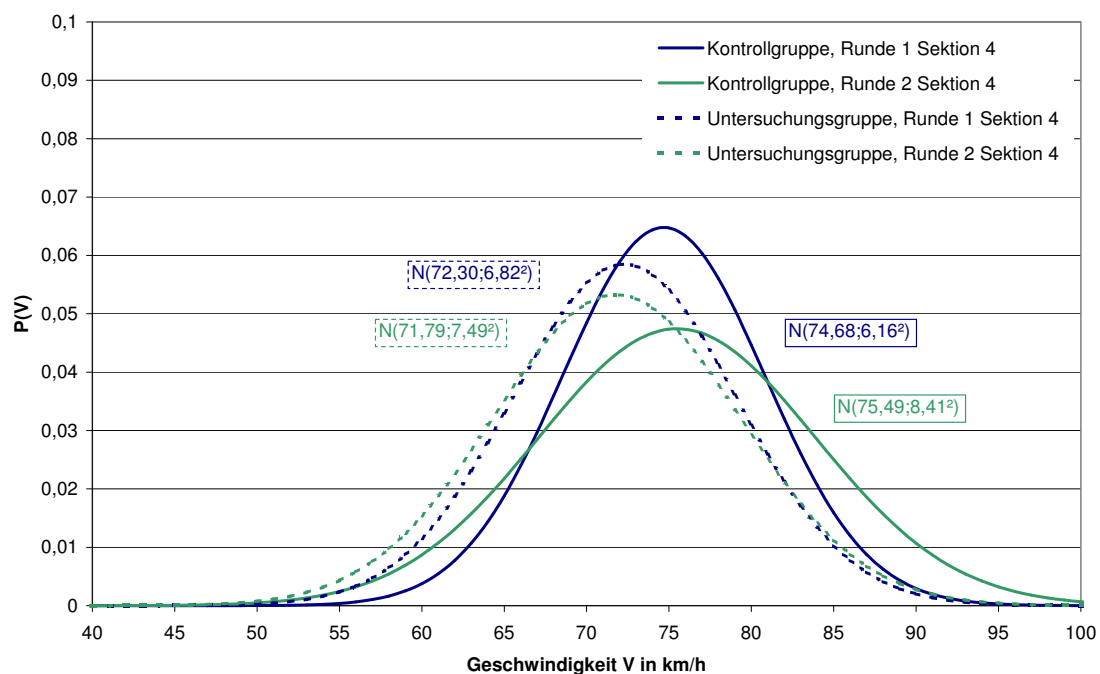


Abbildung G.8.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe der Runden 1 und 2 in Sektion 4. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

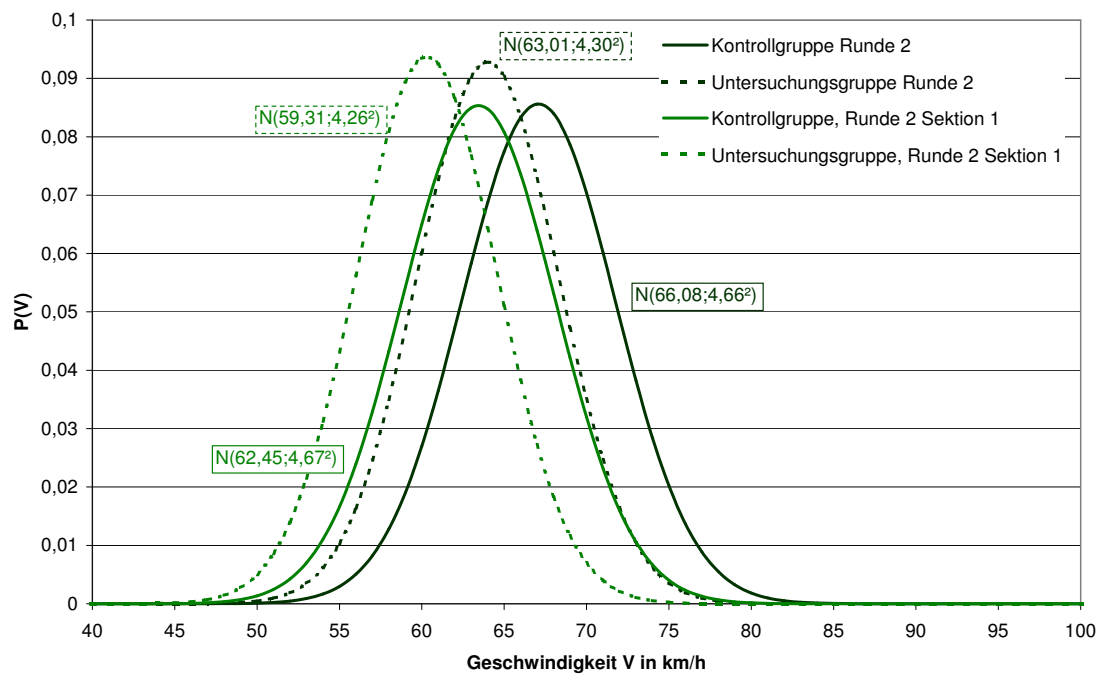


Abbildung G.9.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2 und Sektion 1. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

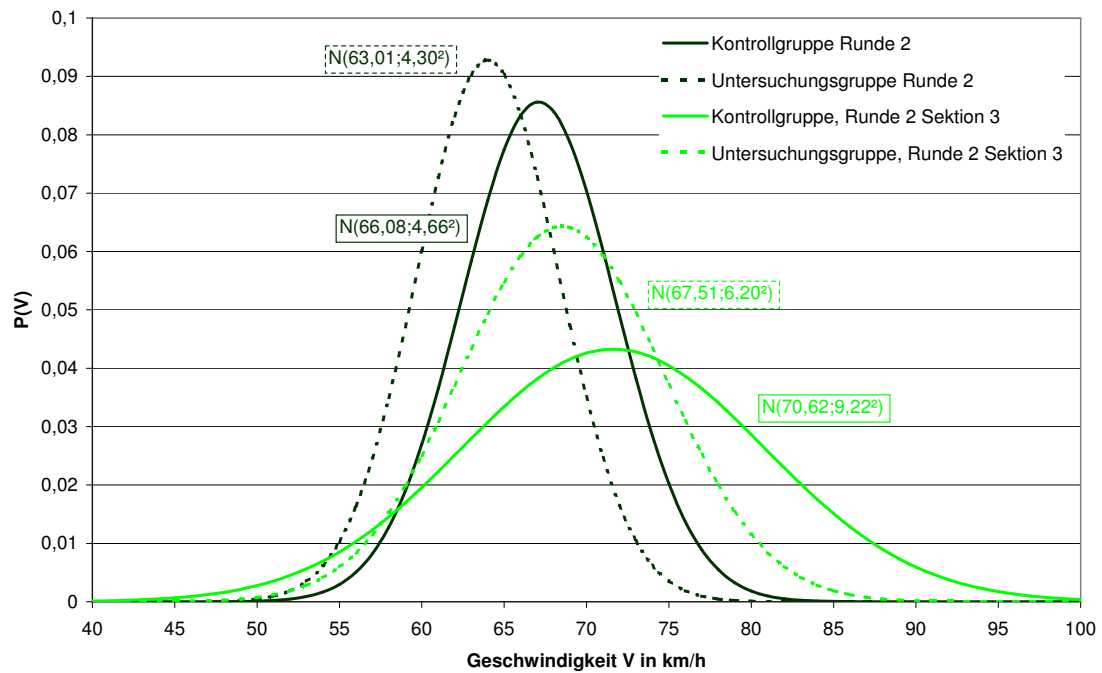


Abbildung G.10.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2 und Sektion 3. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

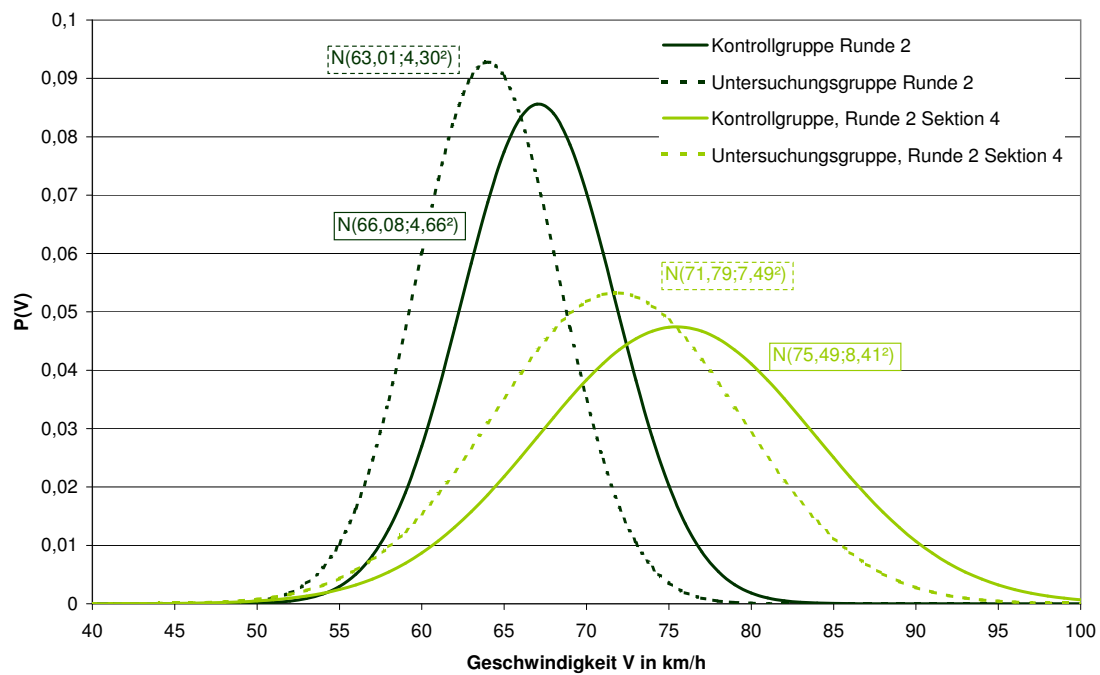


Abbildung G.11.: Theoretische Geschwindigkeitsverteilung von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Runde 2 und Sektion 4. Die theoretische Verteilung wurde nach Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe errechnet.

H. Geschwindigkeitsüberschreitungen

Tabelle H.1.: Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen pro km zwischen $6 \frac{km}{h}$ und $20 \frac{km}{h}$.

	Alle Probanden			Kontrollgruppe			Untersuchungsgruppe		
	N	D	α	N	D	α	N	D	α
Runde 1 Gesamt	62	0,090	n. s.	29	0,125	n. s.	35	0,125	n. s.
Runde 1 Sektion 1	62	0,059	n. s.	29	0,054	n. s.	35	0,088	n. s.
Runde 1 Sektion 2	62	0,297	$< 0,001$	29	0,289	$< 0,05$	35	0,288	$< 0,01$
Runde 1 Sektion 3	62	0,094	n. s.	29	0,112	n. s.	35	0,121	n. s.
Runde 1 Sektion 4	62	0,102	n. s.	29	0,132	n. s.	35	0,121	n. s.
Runde 2 Gesamt	64	0,091	n. s.	29	0,147	n. s.	35	0,090	n. s.
Runde 2 Sektion 1	64	0,075	n. s.	29	0,078	n. s.	35	0,122	n. s.
Runde 2 Sektion 2	64	0,238	$< 0,01$	29	0,231	n. s.	35	0,263	$< 0,05$
Runde 2 Sektion 3	64	0,114	n. s.	29	0,147	n. s.	35	0,174	n. s.
Runde 2 Sektion 4	64	0,174	n. s.	29	0,199	n. s.	35	0,146	n. s.

Tabelle H.2.: Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen pro km über $20 \frac{km}{h}$.

	Alle Probanden			Kontrollgruppe			Untersuchungsgruppe		
	N	D	α	N	D	α	N	D	α
Runde 1 Gesamt	62	0,095	n. s.	29	0,118	n. s.	35	0,145	n. s.
Runde 1 Sektion 1	62	0,184	$< 0,05$	29	0,251	n. s.	35	0,166	n. s.
Runde 1 Sektion 2	62	0,507	$< 0,001$	29	0,452	$< 0,001$	35	0,538	$< 0,001$
Runde 1 Sektion 3	62	0,196	$< 0,05$	29	0,192	n. s.	35	0,213	n. s.
Runde 1 Sektion 4	62	0,143	n. s.	29	0,121	n. s.	35	0,164	n. s.
Runde 2 Gesamt	64	0,098	n. s.	29	0,105	n. s.	35	0,122	n. s.

Fortsetzung auf der nächsten Seite

H. Geschwindigkeitsüberschreitungen

	Alle Probanden			Kontrollgruppe			Untersuchungsgruppe		
	N	D	α	N	D	α	N	D	α
Runde 2 Sektion 1	64	0,142	n. s.	29	0,126	n. s.	35	0,182	n. s.
Runde 2 Sektion 2	64	0,465	< 0,001	29	0,416	< 0,001	35	0,516	< 0,001
Runde 2 Sektion 3	64	0,165	n. s.	29	0,171	n. s.	35	0,149	n. s.
Runde 2 Sektion 4	64	0,170	n. s.	29	0,240	n. s.	35	0,144	n. s.

Tabelle H.3.: Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der Dauer der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$.

	Alle Probanden			Kontrollgruppe			Untersuchungsgruppe		
	N	D	α	N	D	α	N	D	α
Runde 1 Gesamt	62	0,208	< 0,01	29	0,295	< 0,05	35	0,109	n. s.
Runde 1 Sektion 1	62	0,148	n. s.	29	0,202	n. s.	35	0,107	n. s.
Runde 1 Sektion 2	62	0,182	< 0,05	29	0,146	n. s.	35	0,268	< 0,05
Runde 1 Sektion 3	62	0,122	n. s.	29	0,161	n. s.	35	0,139	n. s.
Runde 1 Sektion 4	62	0,143	n. s.	29	0,160	n. s.	35	0,156	n. s.
Runde 2 Gesamt	64	0,155	n. s.	29	0,232	n. s.	35	0,129	n. s.
Runde 2 Sektion 1	64	0,098	n. s.	29	0,152	n. s.	35	0,151	n. s.
Runde 2 Sektion 2	64	0,181	< 0,05	29	0,147	n. s.	35	0,251	< 0,05
Runde 2 Sektion 3	64	0,161	n. s.	29	0,157	n. s.	35	0,203	n. s.
Runde 2 Sektion 4	64	0,323	< 0,001	29	0,396	< 0,001	35	0,207	n. s.

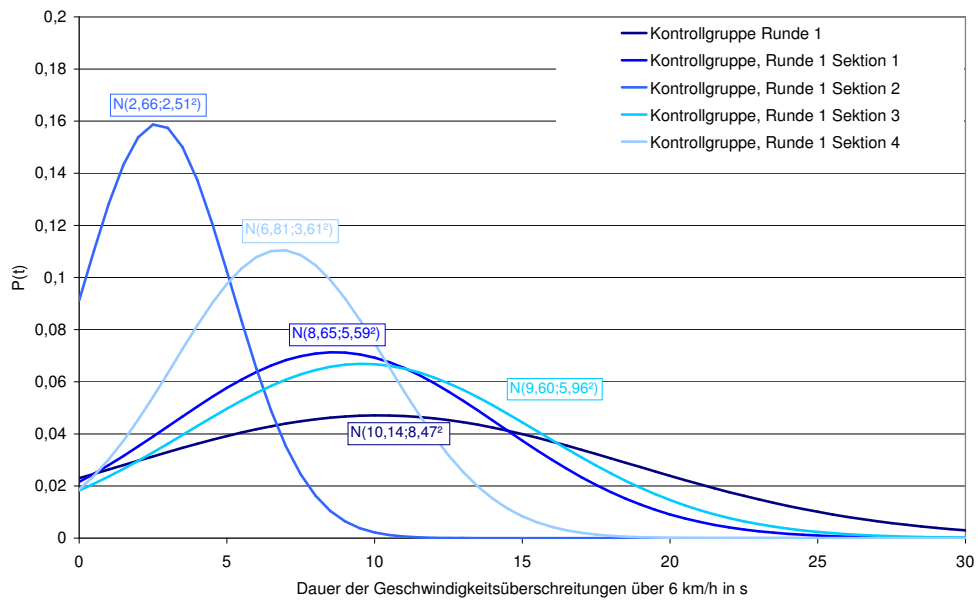


Abbildung H.1.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 1.

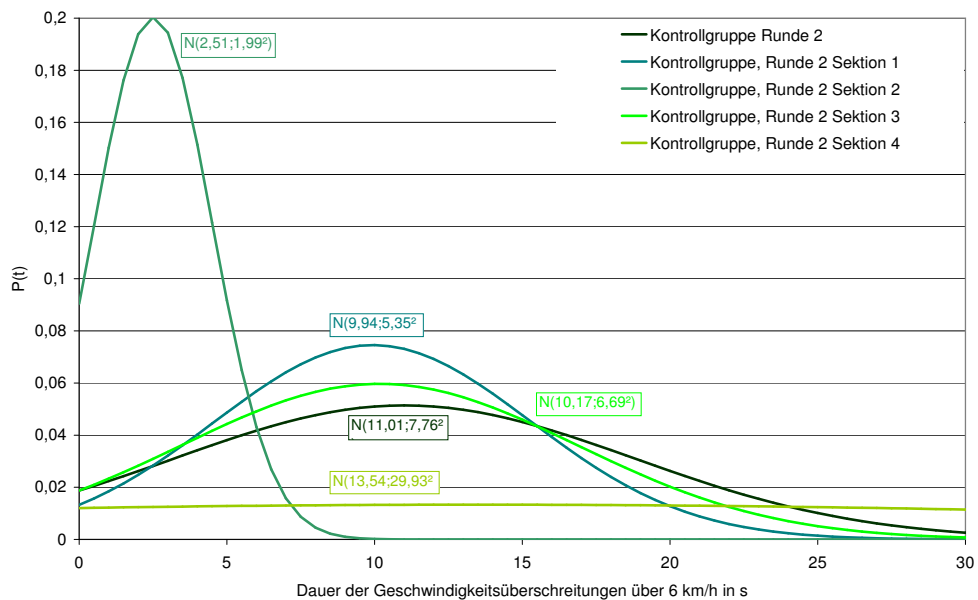


Abbildung H.2.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 2.

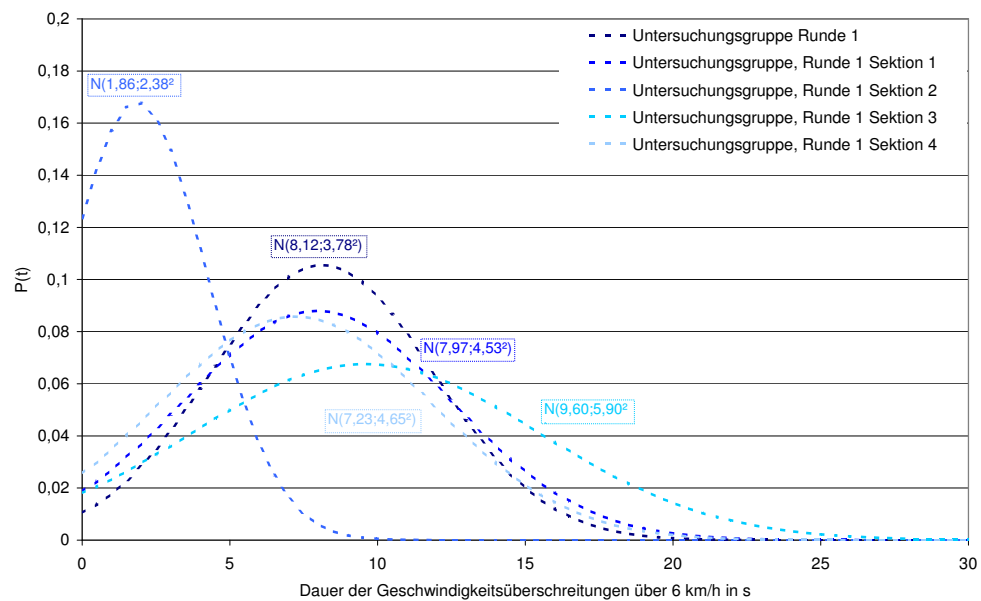


Abbildung H.3.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Untersuchungsgruppe in Runde 1.

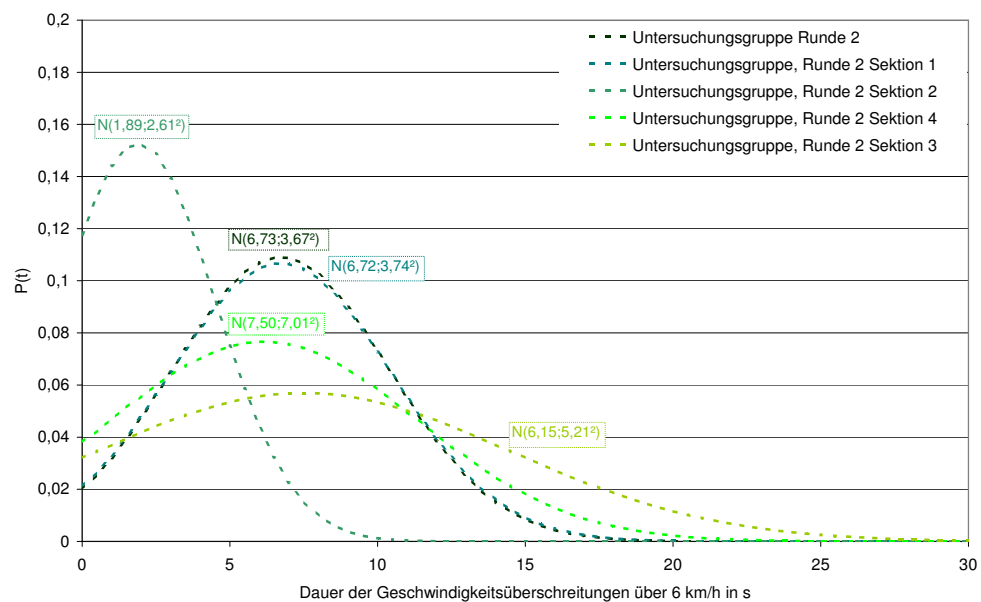


Abbildung H.4.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Untersuchungsgruppe in Runde 2.

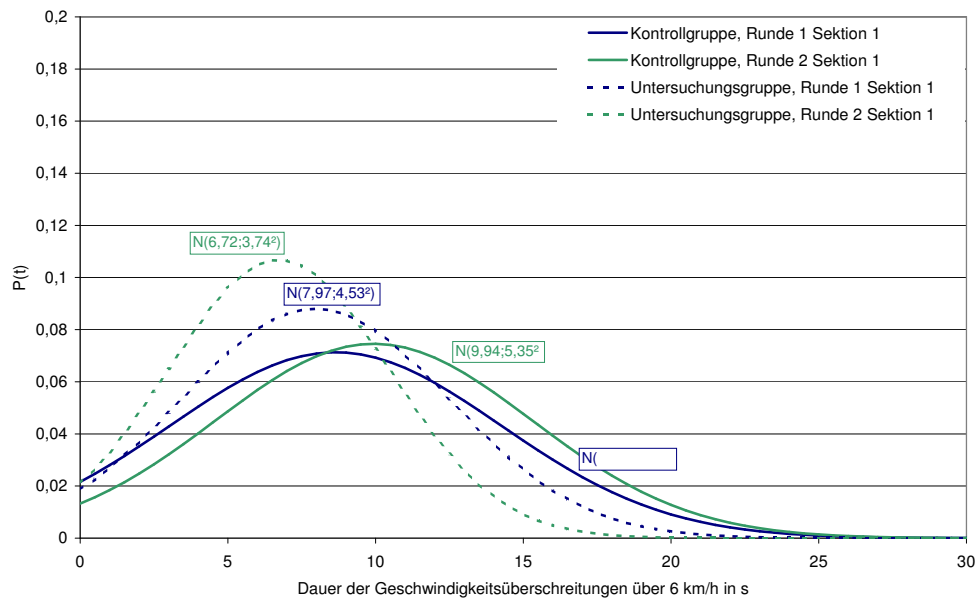


Abbildung H.5.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 1.

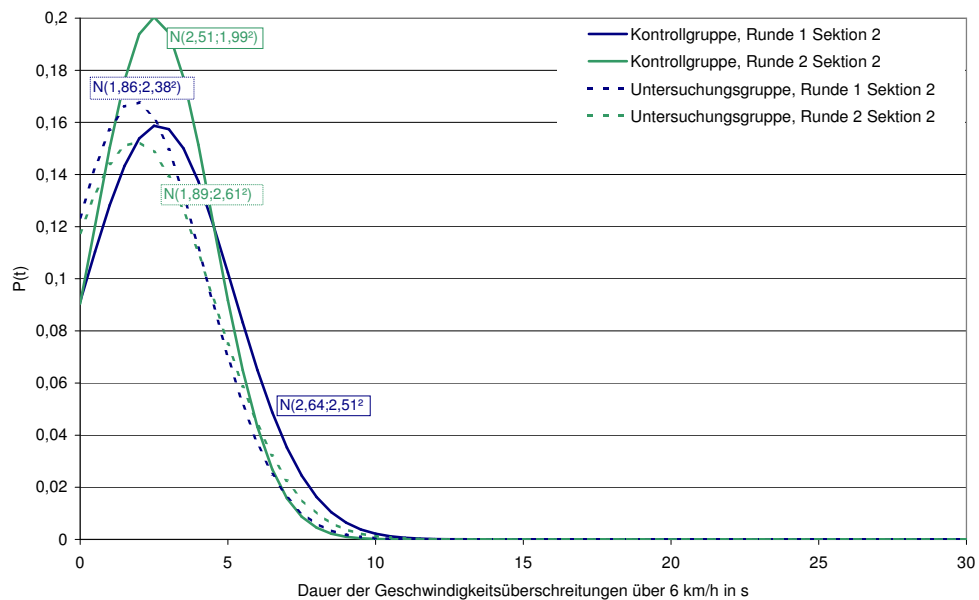


Abbildung H.6.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 2.

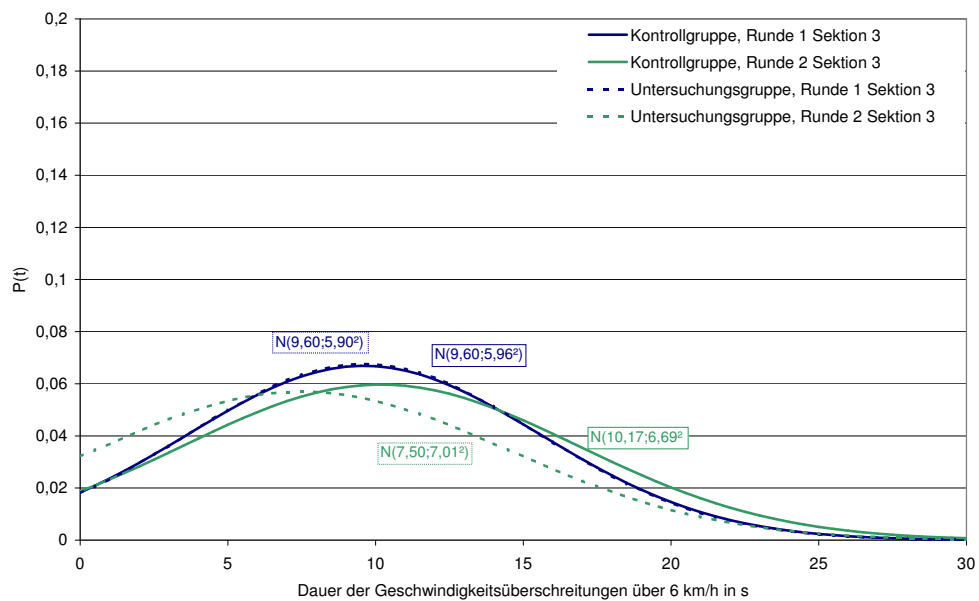


Abbildung H.7.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 3.

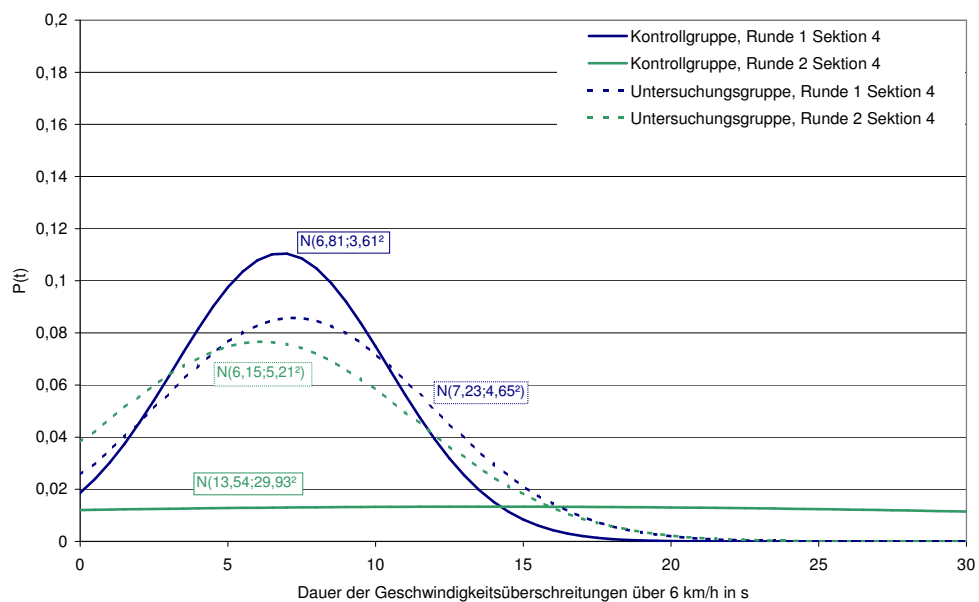


Abbildung H.8.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 4.

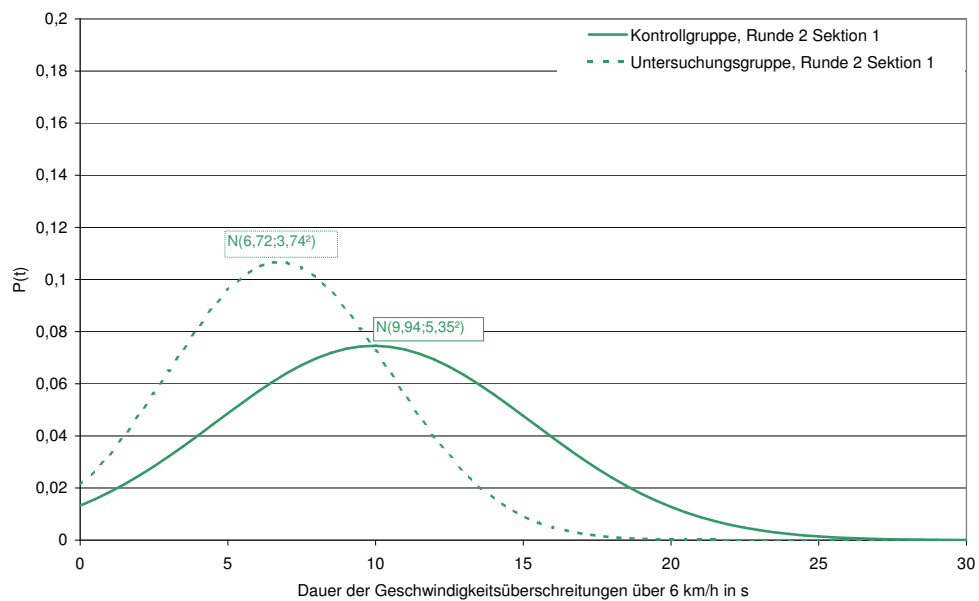


Abbildung H.9.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 1 der Runde 2.

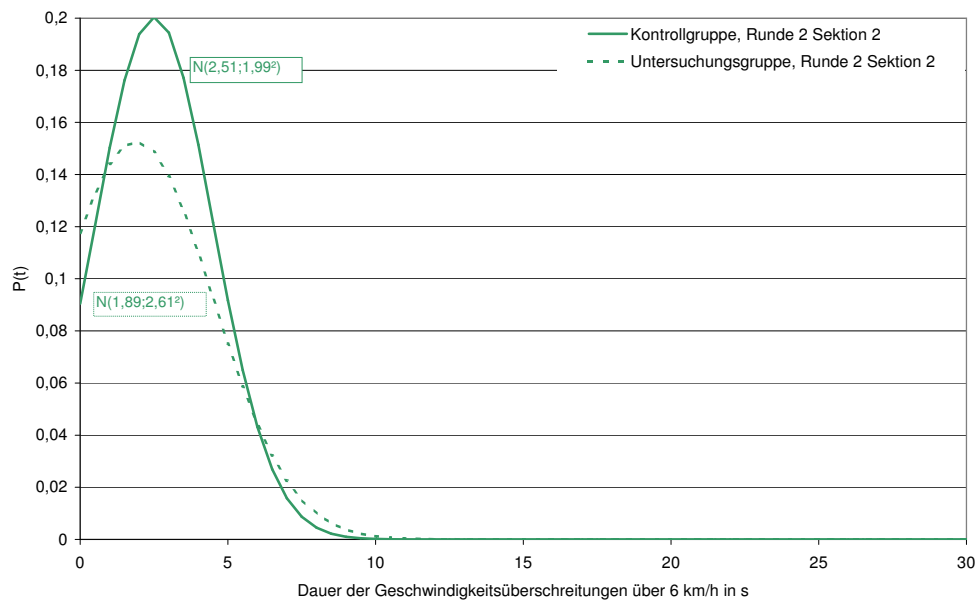


Abbildung H.10.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 2 der Runde 2

H. Geschwindigkeitsüberschreitungen

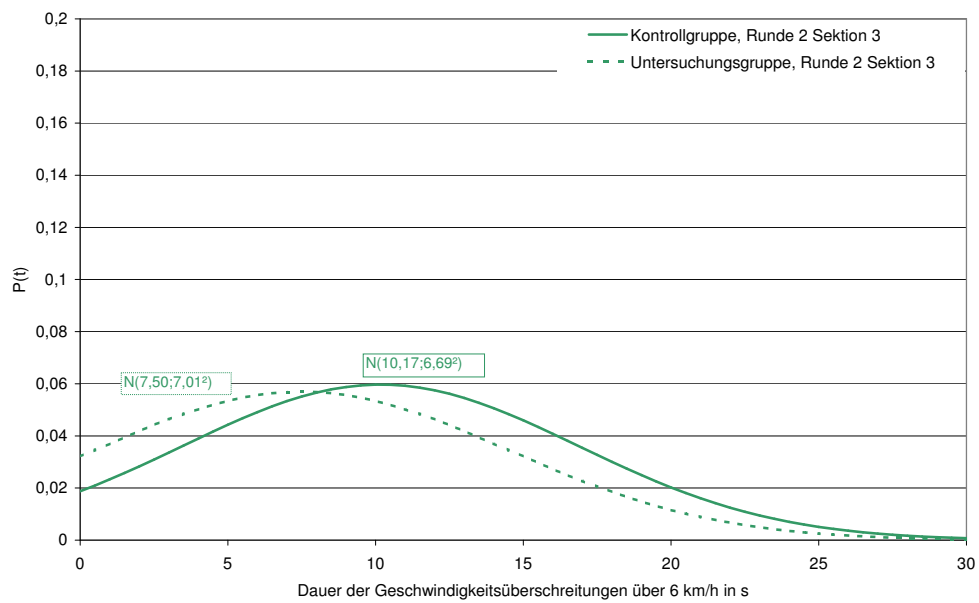


Abbildung H.11.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 3 der Runde 2

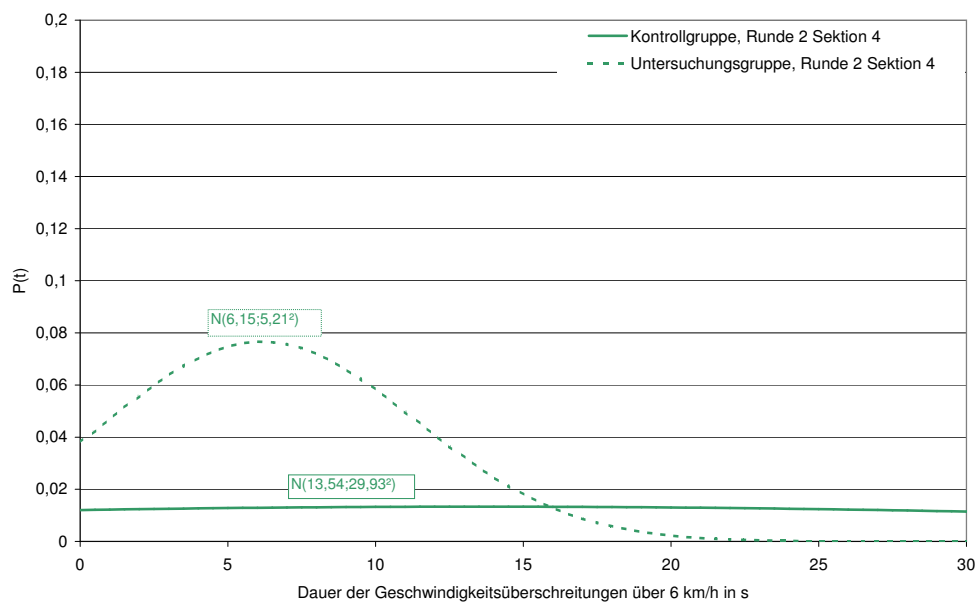


Abbildung H.12.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 4 der Runde 2

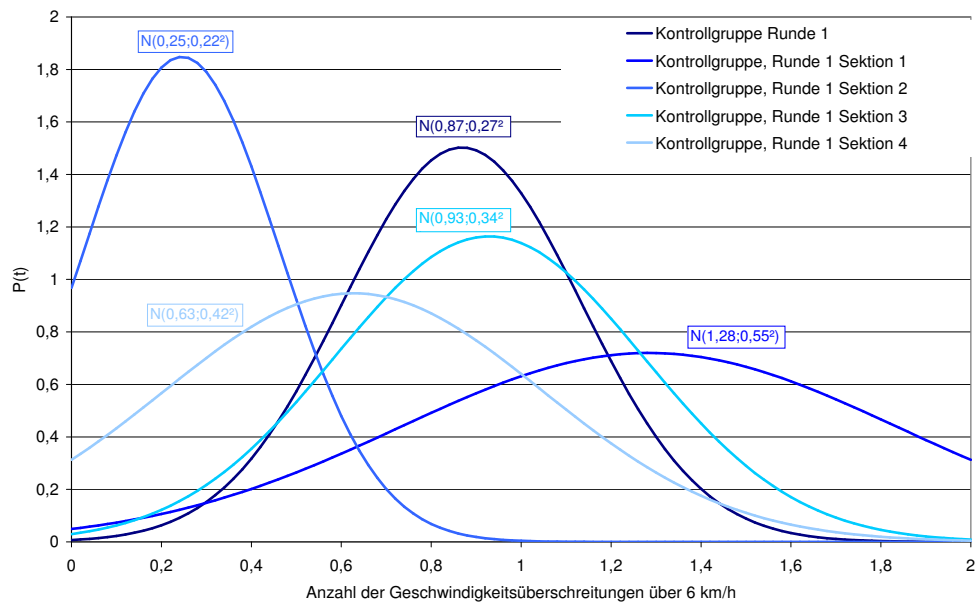


Abbildung H.13.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 1.

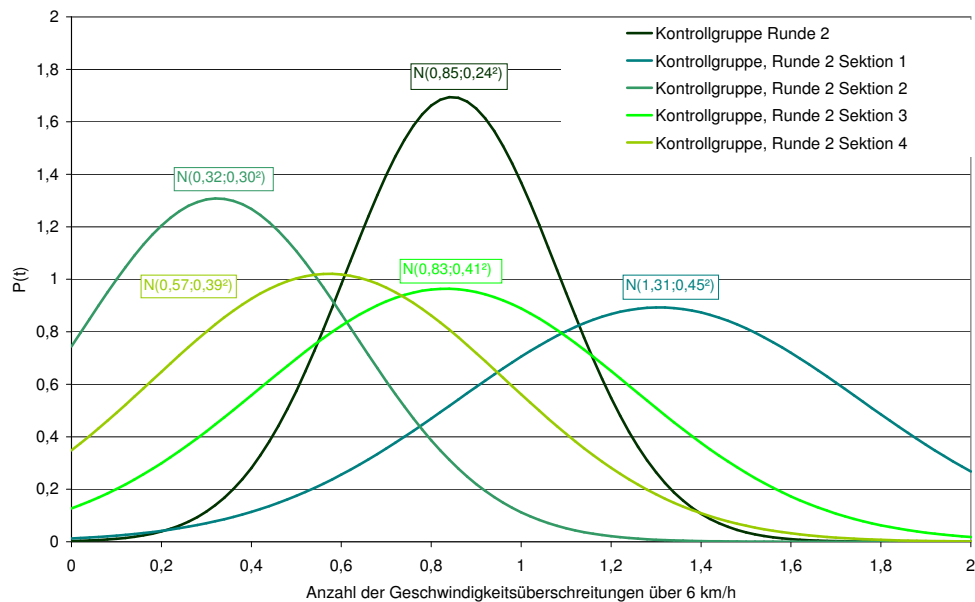


Abbildung H.14.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 2.

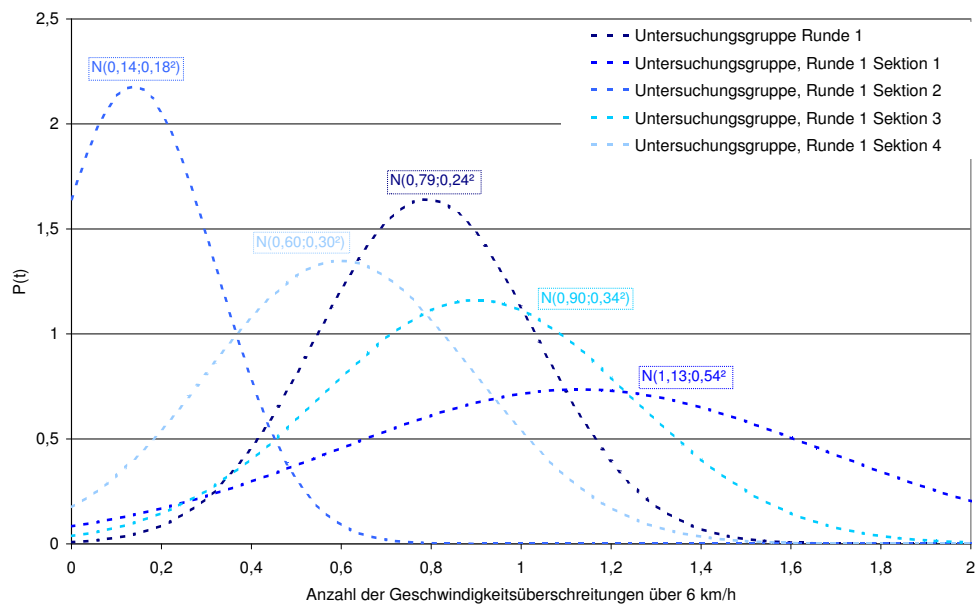


Abbildung H.15.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Untersuchungsgruppe in Runde 1.

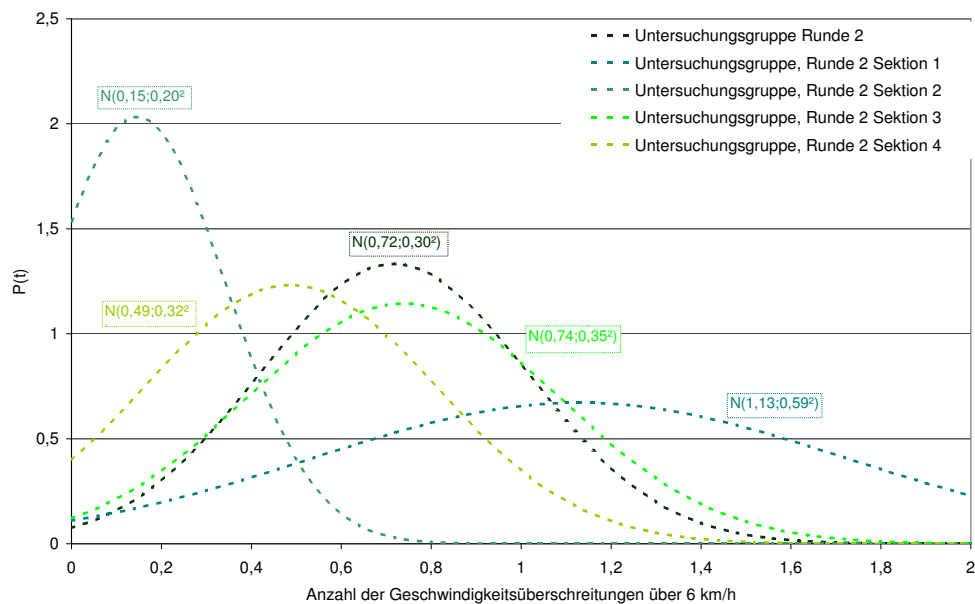


Abbildung H.16.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Untersuchungsgruppe in Runde 2.

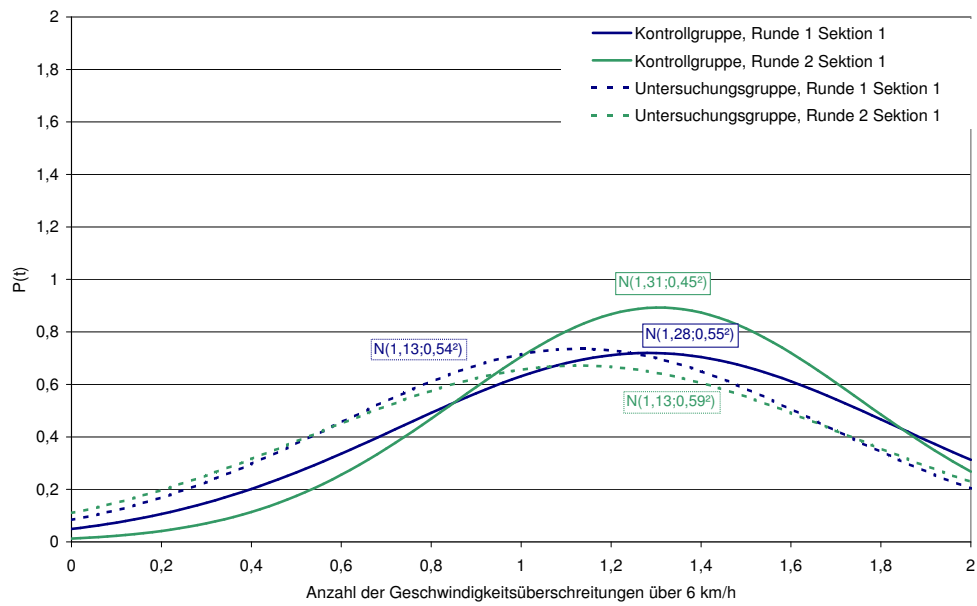


Abbildung H.17.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 1.

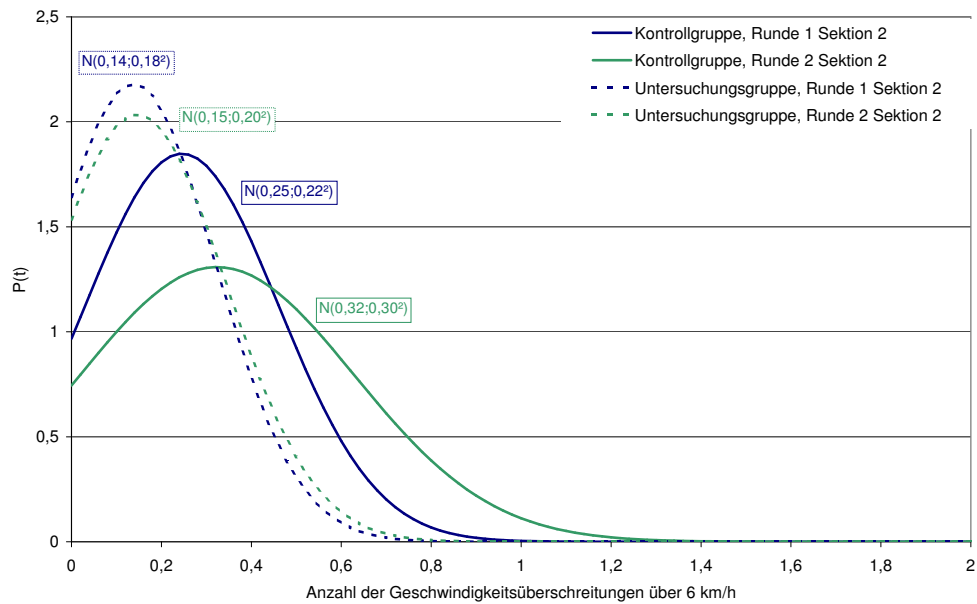


Abbildung H.18.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 2.

H. Geschwindigkeitsüberschreitungen

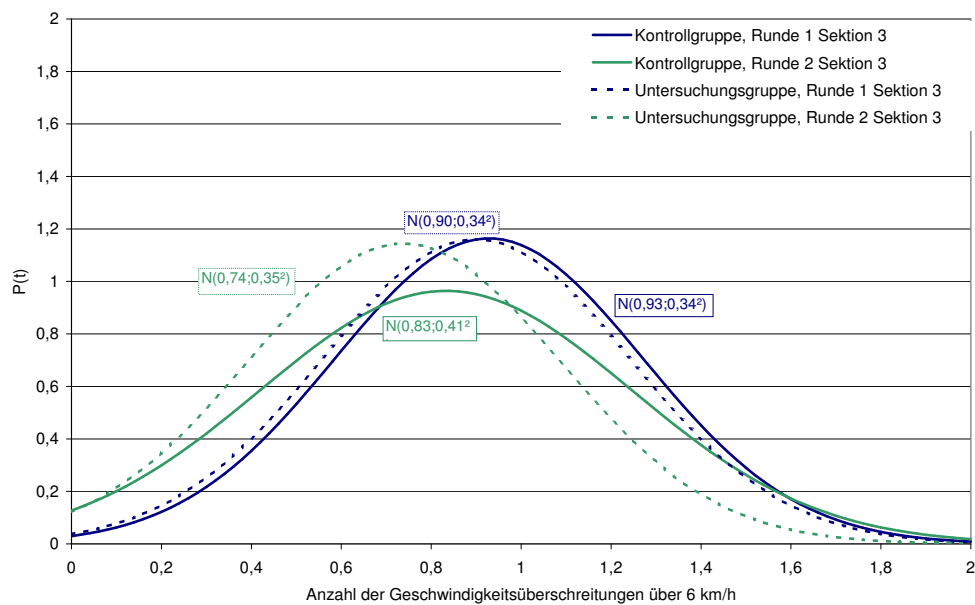


Abbildung H.19.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 3.

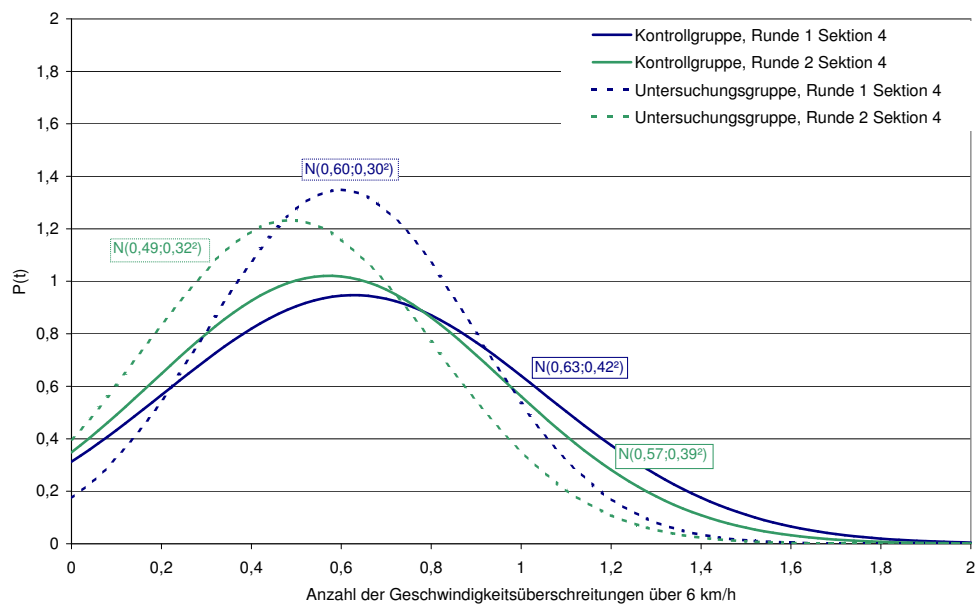


Abbildung H.20.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 4.

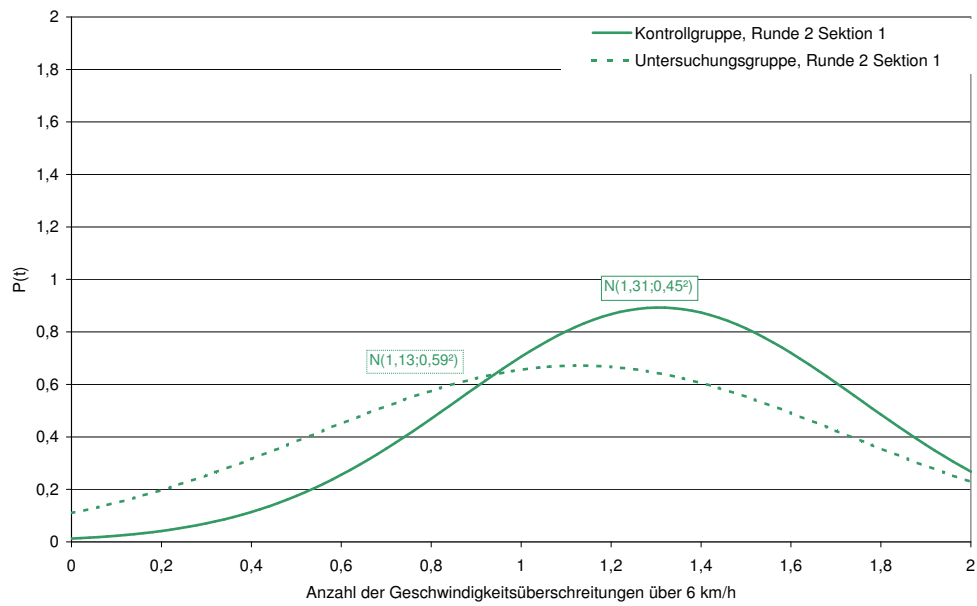


Abbildung H.21.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 1 der Runde 2.

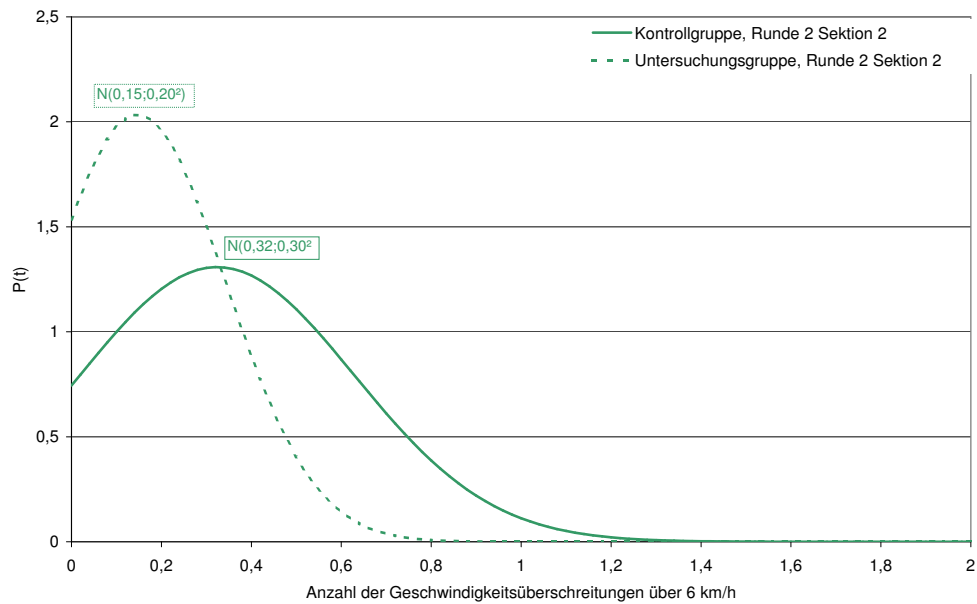


Abbildung H.22.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 2 der Runde 2.

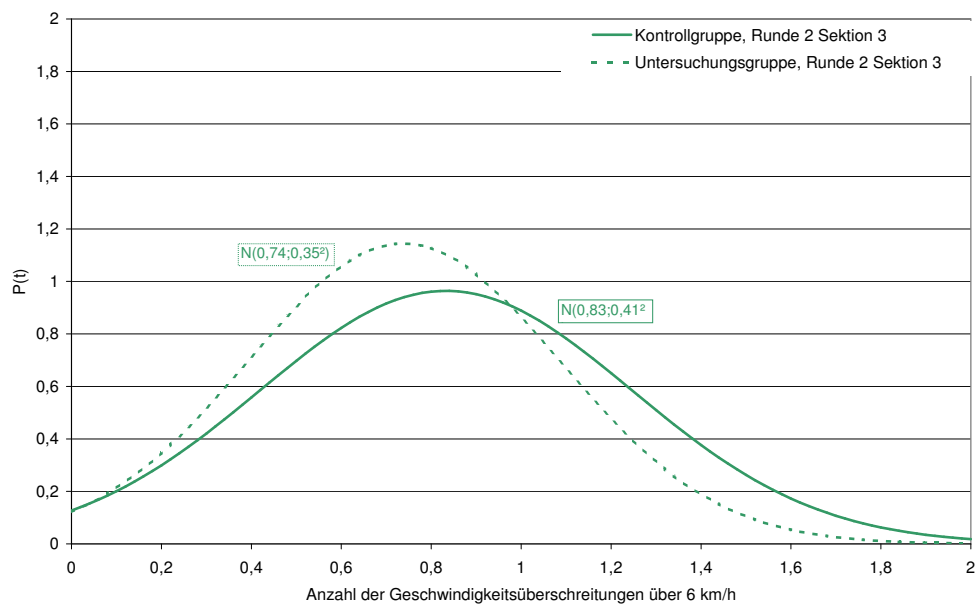


Abbildung H.23.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 3 der Runde 2.

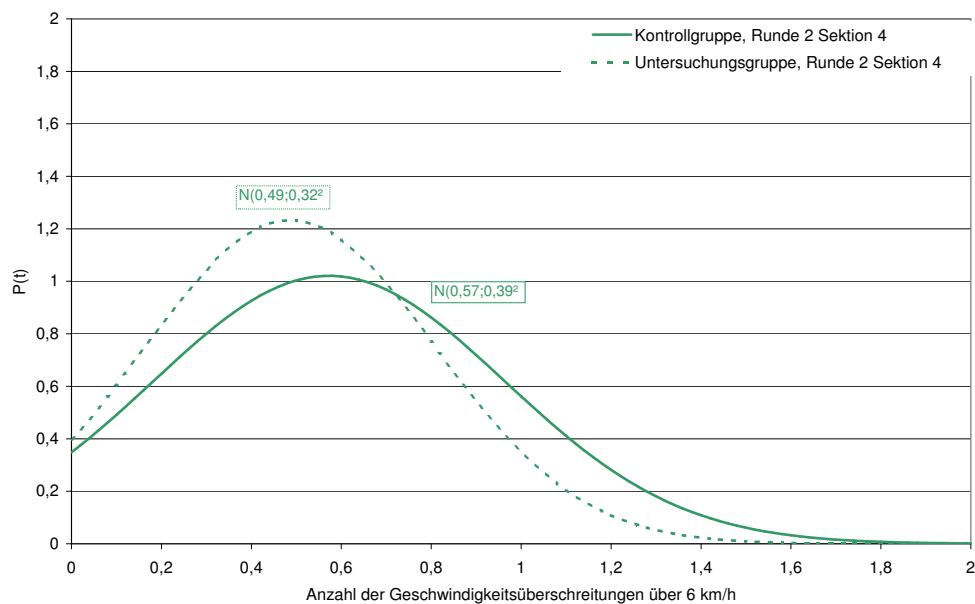


Abbildung H.24.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ in Sektion 4 der Runde 2.

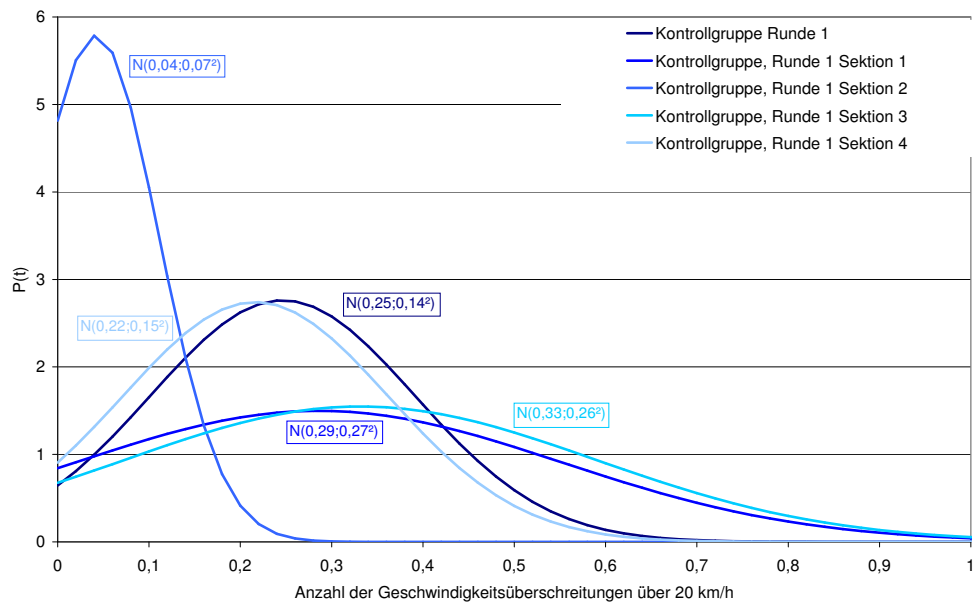


Abbildung H.25.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 1.

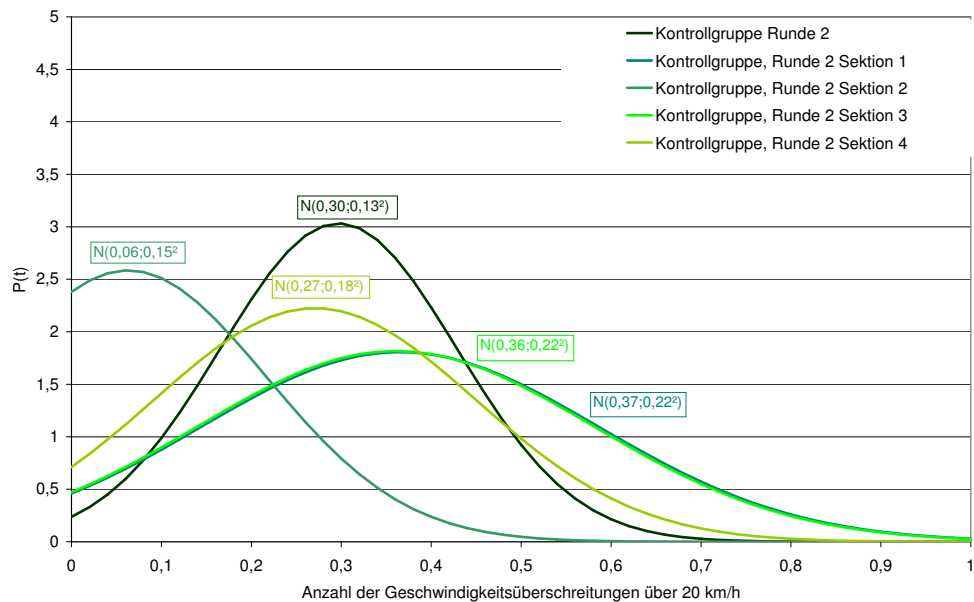


Abbildung H.26.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 2.

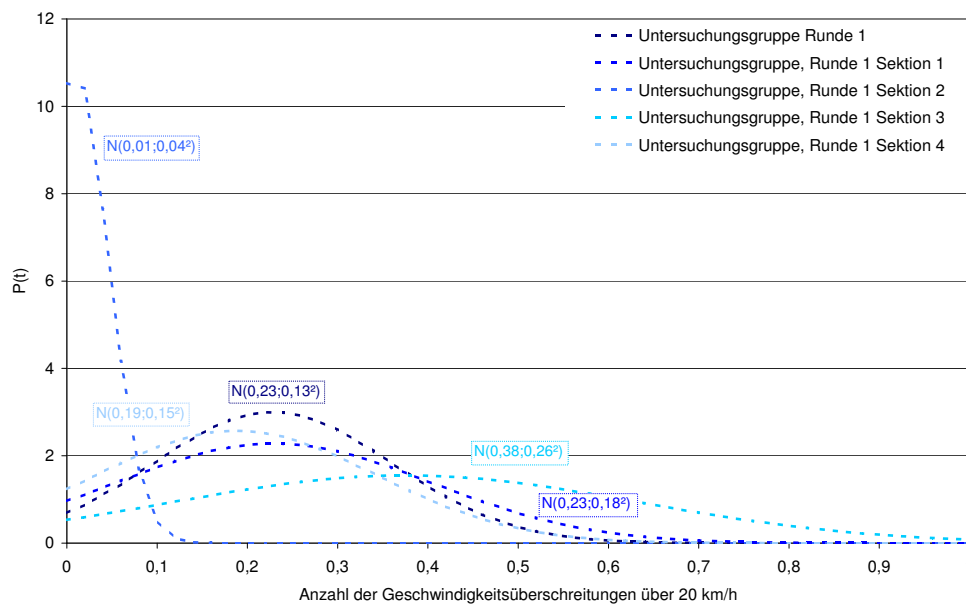


Abbildung H.27.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ der Untersuchungsgruppe in Runde 1.

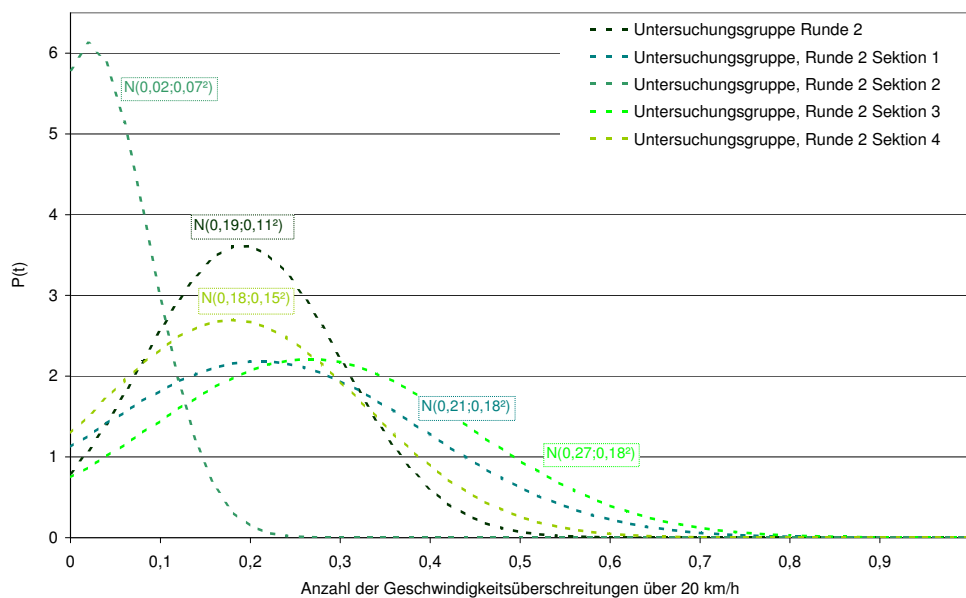


Abbildung H.28.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ der Untersuchungsgruppe in Runde 2.

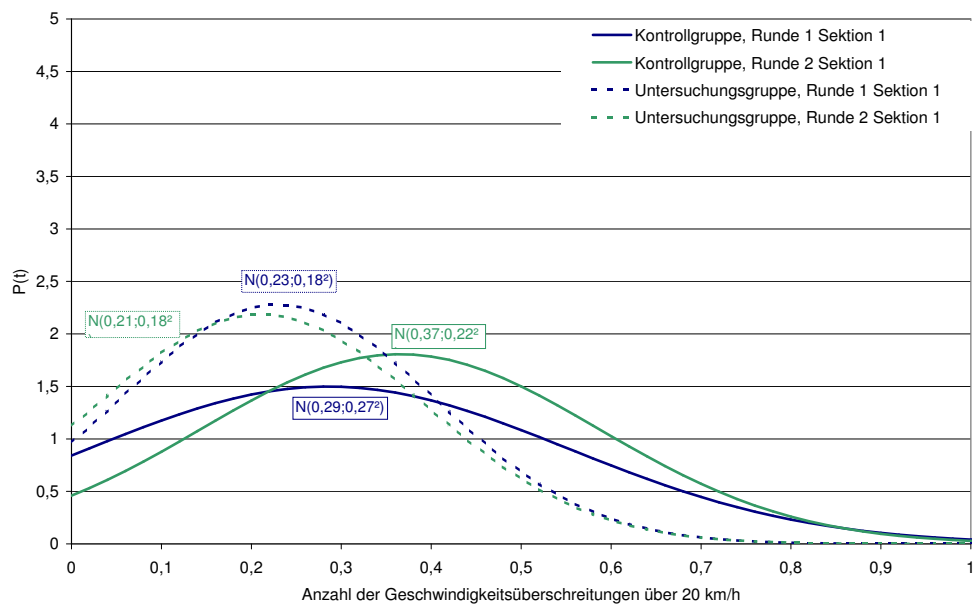


Abbildung H.29.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 1.

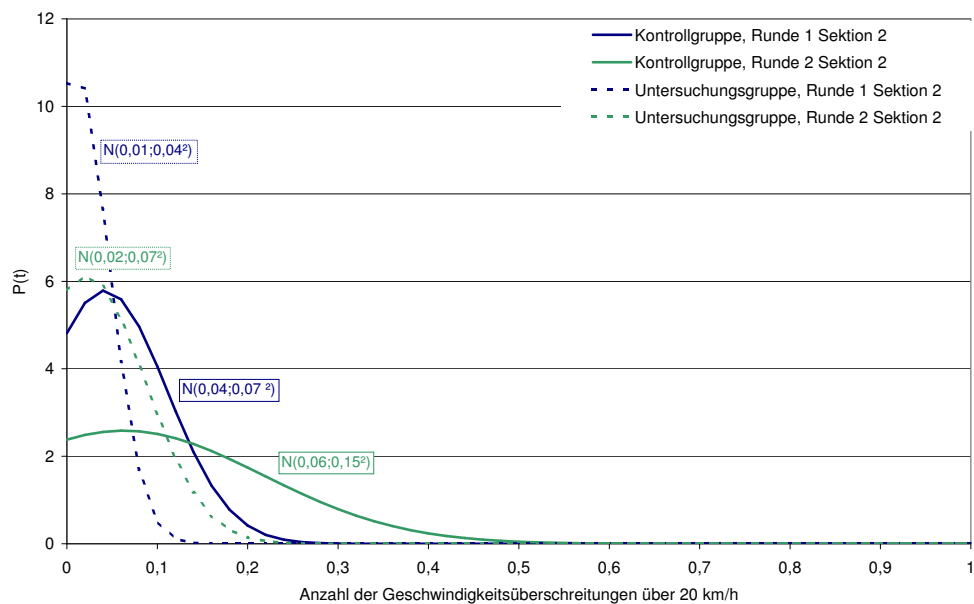


Abbildung H.30.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 2.

H. Geschwindigkeitsüberschreitungen

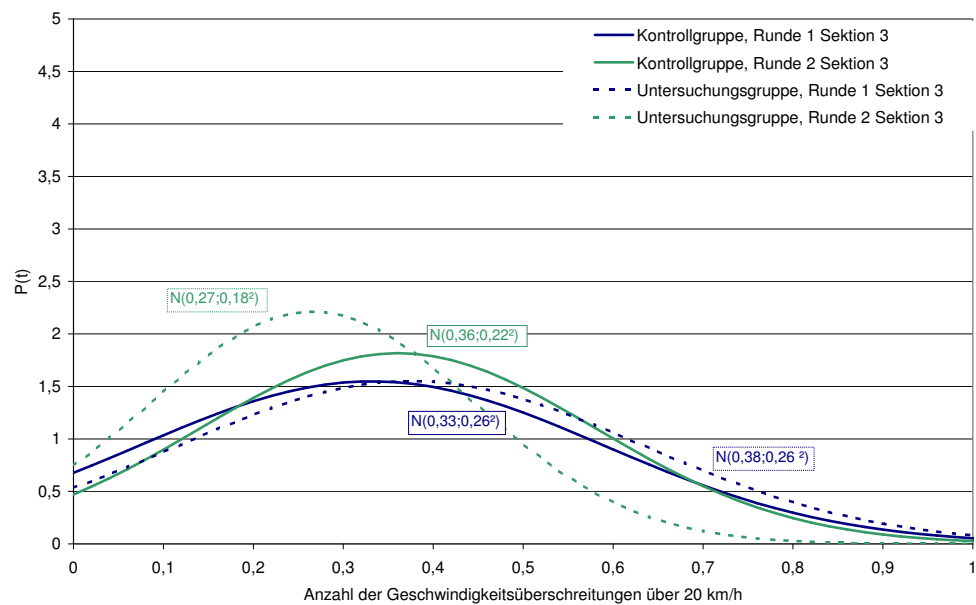


Abbildung H.31.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 3.

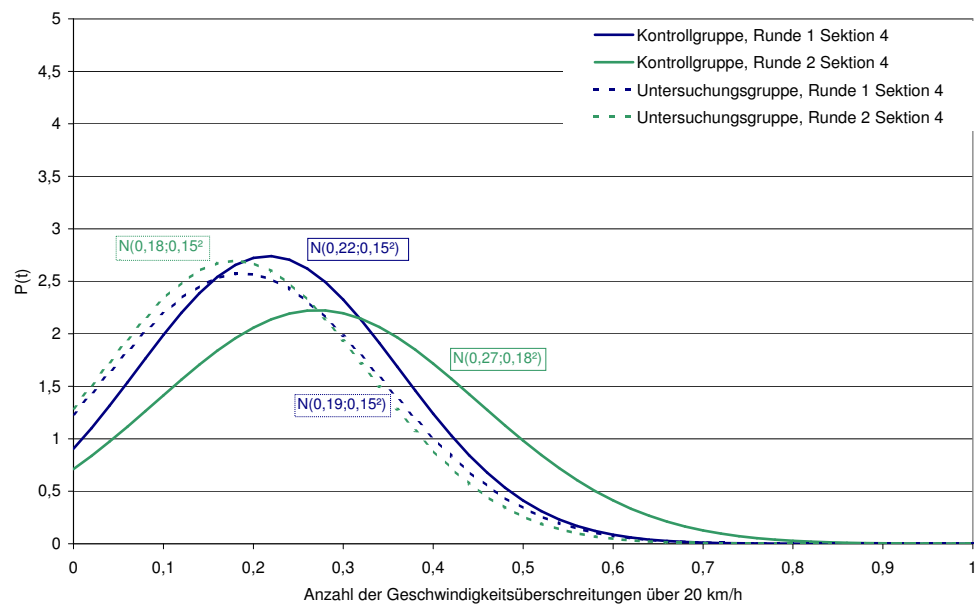


Abbildung H.32.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 4.

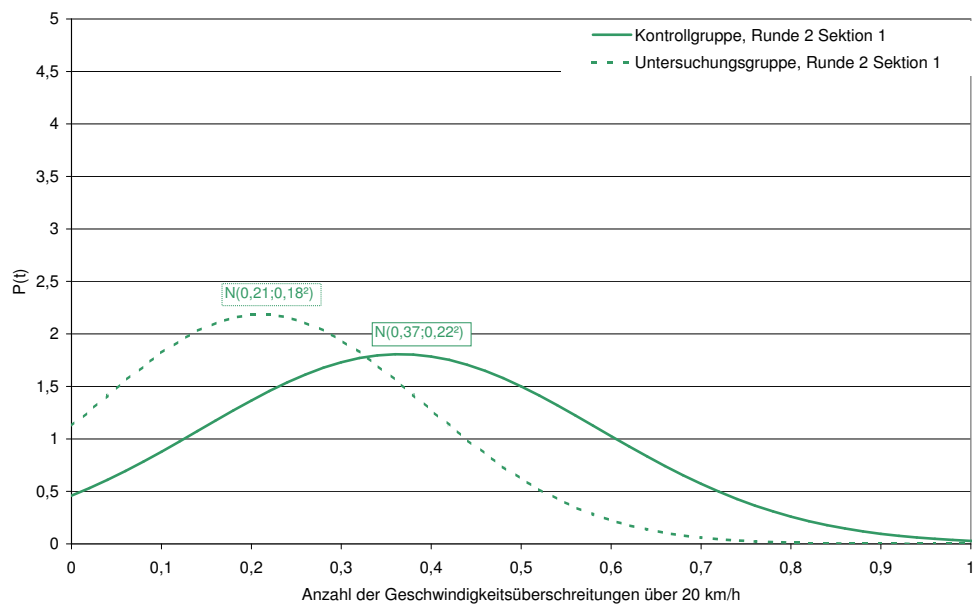


Abbildung H.33.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 1 der Runde 2.

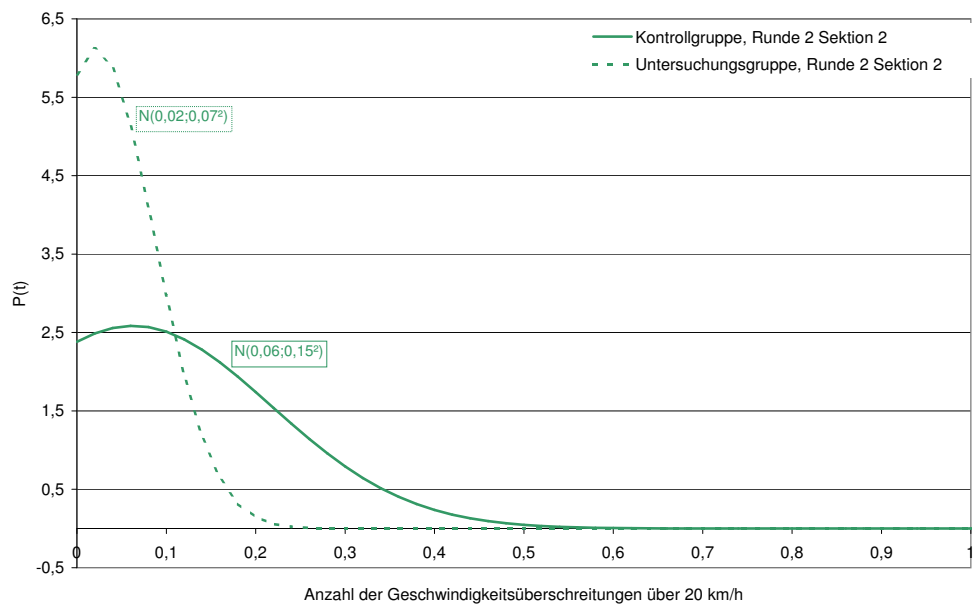


Abbildung H.34.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 2 der Runde 2.

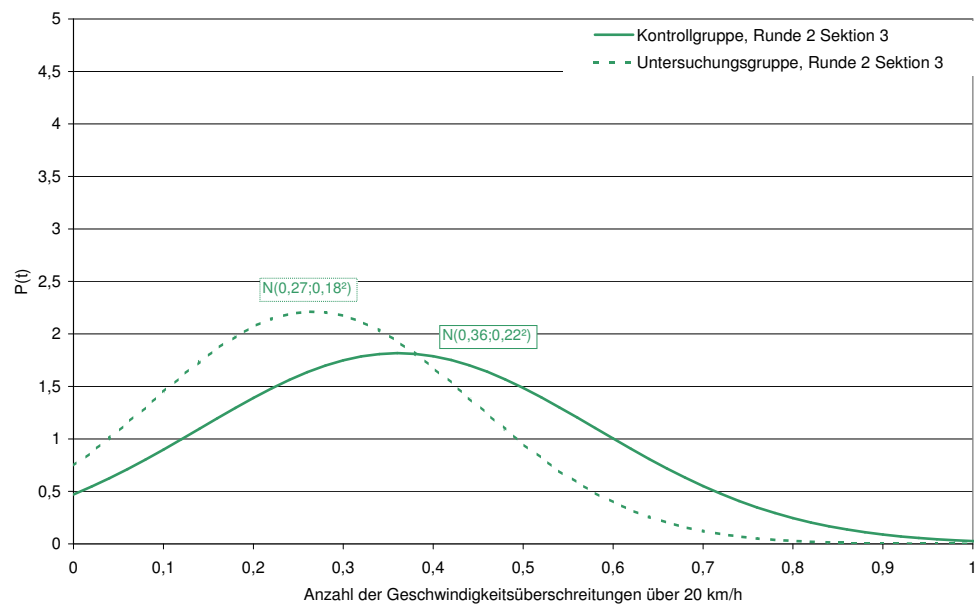


Abbildung H.35.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 3 der Runde 2.

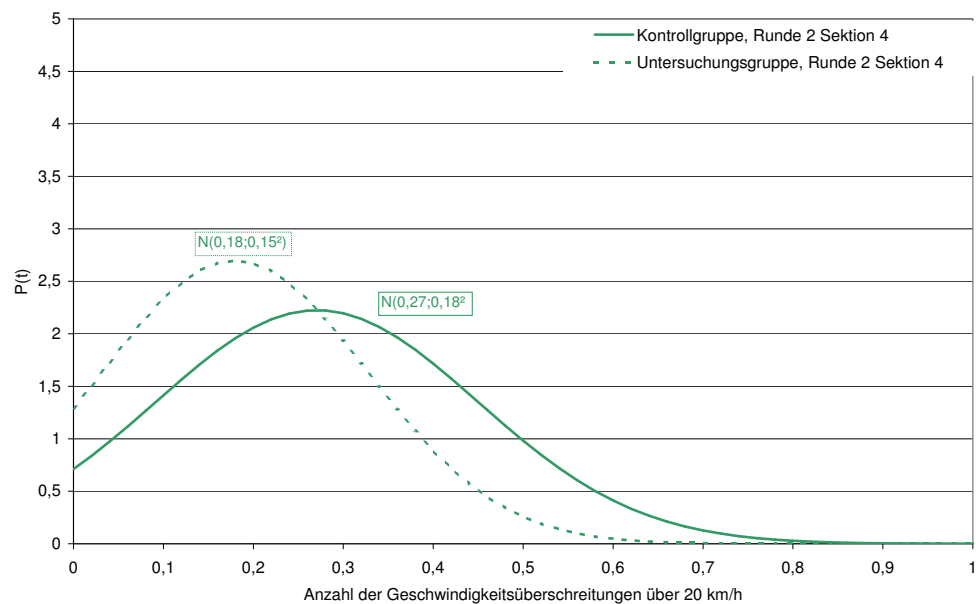


Abbildung H.36.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $20 \frac{km}{h}$ in Sektion 4 der Runde 2.

I. Peripheres Erkennen

Tabelle I.1.: Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der Reaktionszeiten beim Peripheren Erkennen.

	Alle Probanden			Kontrollgruppe			Untersuchungsgruppe		
	N	D	α	N	D	α	N	D	α
Runde 1 Gesamt	66	0,225	< 0,05	30	0,246	n. s.	36	0,229	< 0,05
Runde 1 Sektion 1	66	0,186	< 0,05	30	0,201	n. s.	36	0,212	n. s.
Runde 1 Sektion 2	66	0,209	< 0,01	30	0,224	n. s.	36	0,252	< 0,05
Runde 1 Sektion 3	66	0,203	< 0,01	30	0,232	n. s.	36	0,243	< 0,05
Runde 1 Sektion 4	66	0,216	< 0,01	30	0,256	< 0,05	36	0,199	n. s.
Runde 2 Gesamt	66	0,176	< 0,05	30	0,242	n. s.	36	0,163	n. s.
Runde 2 Sektion 1	66	0,157	n. s.	30	0,202	n. s.	36	0,185	n. s.
Runde 2 Sektion 2	66	0,186	< 0,05	30	0,215	n. s.	36	0,207	n. s.
Runde 2 Sektion 3	66	0,173	< 0,05	30	0,209	n. s.	36	0,169	n. s.
Runde 2 Sektion 4	66	0,196	< 0,05	30	0,239	n. s.	36	0,172	n. s.

Tabelle I.2.: Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der Trefferquoten beim Peripheren Erkennen.

	Alle Probanden			Kontrollgruppe			Untersuchungsgruppe		
	N	D	α	N	D	α	N	D	α
Runde 1 Gesamt	65	0,165	n. s.	29	0,239	n. s.	34	0,127	n. s.
Runde 1 Sektion 1	65	0,238	< 0,01	29	0,273	< 0,05	34	0,168	n. s.
Runde 1 Sektion 2	65	0,204	< 0,05	29	0,230	n. s.	34	0,189	n. s.
Runde 1 Sektion 3	65	0,166	n. s.	29	0,199	n. s.	34	0,201	n. s.
Runde 1 Sektion 4	65	0,184	< 0,05	29	0,284	< 0,05	34	0,175	n. s.
Runde 2 Gesamt	65	0,172	< 0,05	30	0,211	n. s.	35	0,152	n. s.
Runde 2 Sektion 1	65	0,172	< 0,05	30	0,205	n. s.	35	0,179	n. s.
Runde 2 Sektion 2	65	0,225	< 0,01	30	0,326	< 0,01	35	0,143	n. s.
Runde 2 Sektion 3	65	0,192	< 0,05	30	0,230	n. s.	35	0,168	n. s.
Runde 2 Sektion 4	65	0,175	< 0,05	30	0,221	n. s.	35	0,151	n. s.

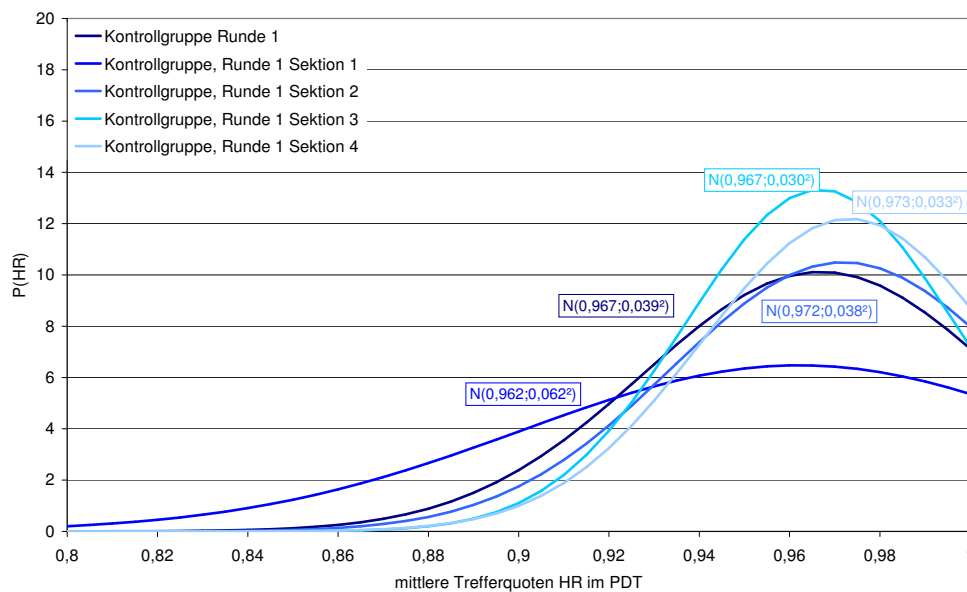


Abbildung I.1.: Theoretische Verteilung der Dauern der Geschwindigkeitsüberschreitungen über $6 \frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 1.

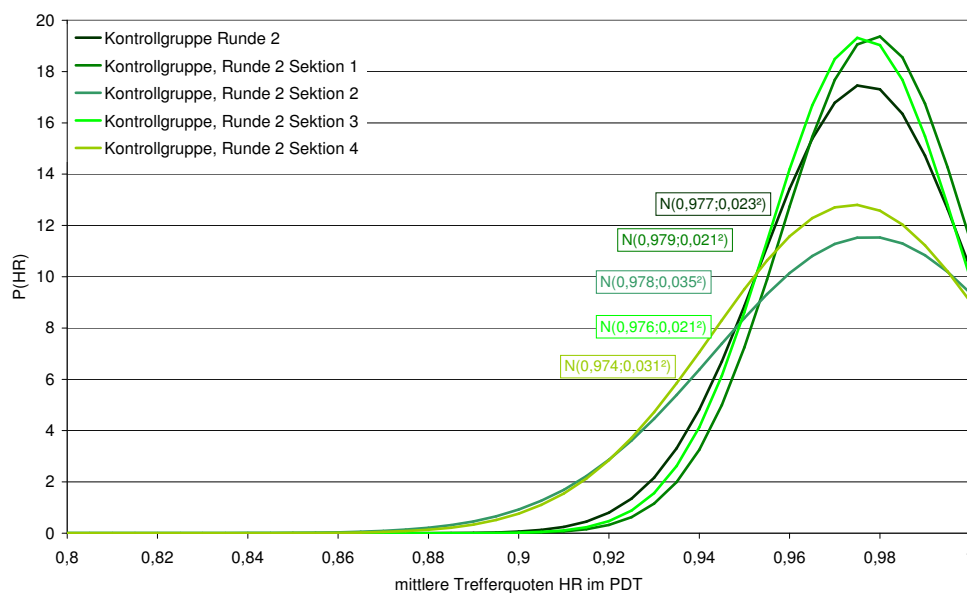


Abbildung I.2.: Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT der Kontrollgruppe in Runde 2.

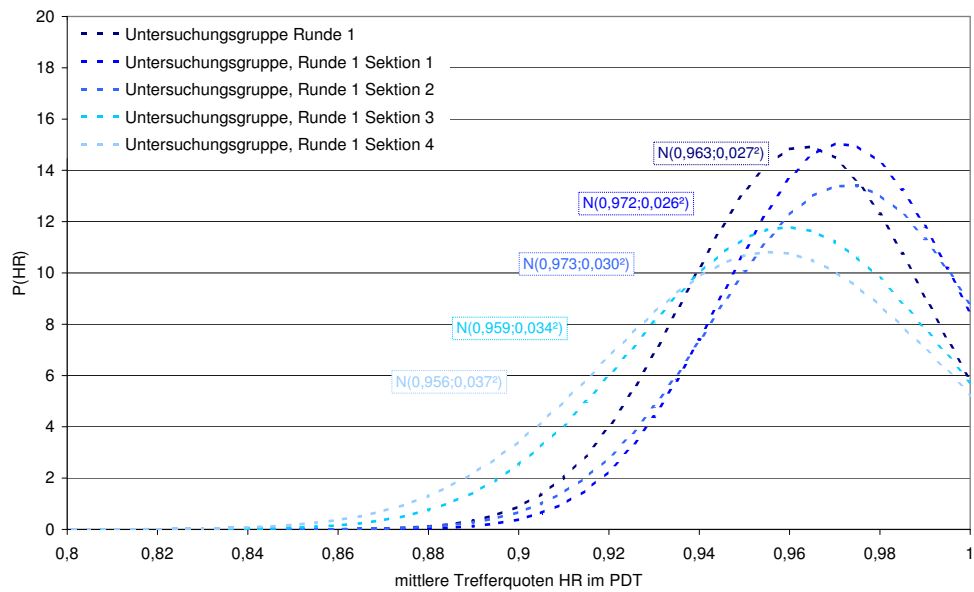


Abbildung I.3.: Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT der Untersuchungsgruppe in Runde 1.

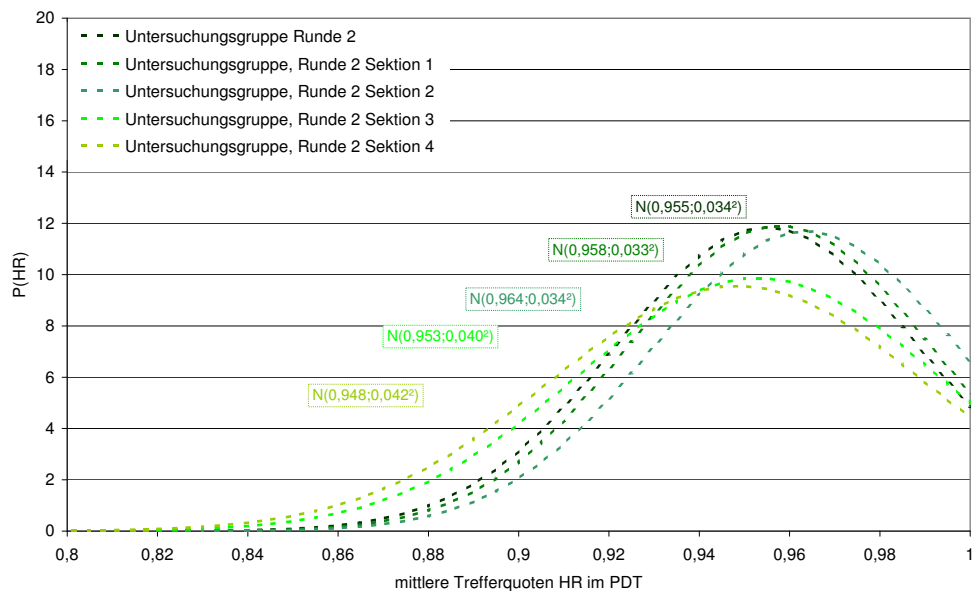


Abbildung I.4.: Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT der Untersuchungsgruppe in Runde 2.

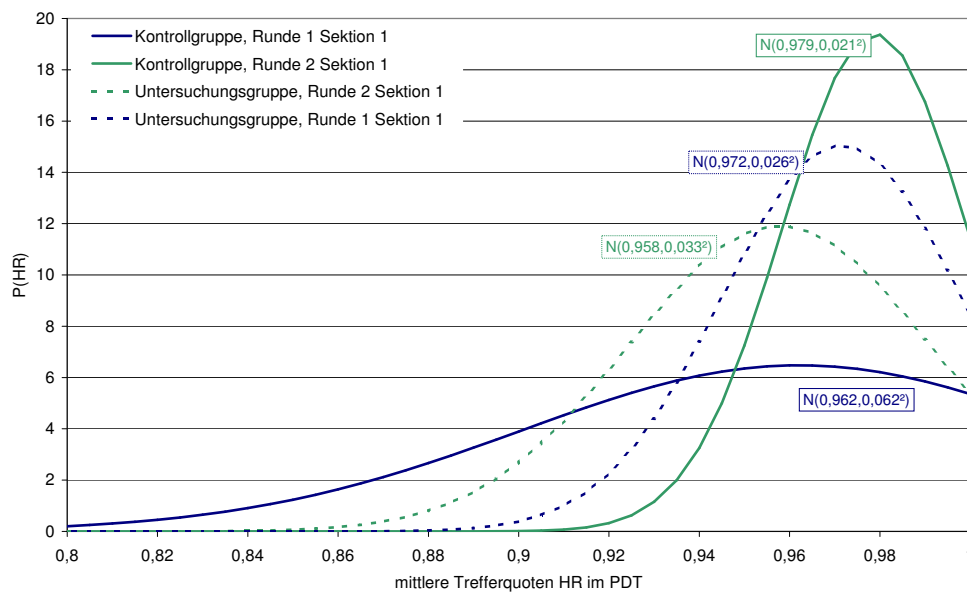


Abbildung I.5.: Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 1.

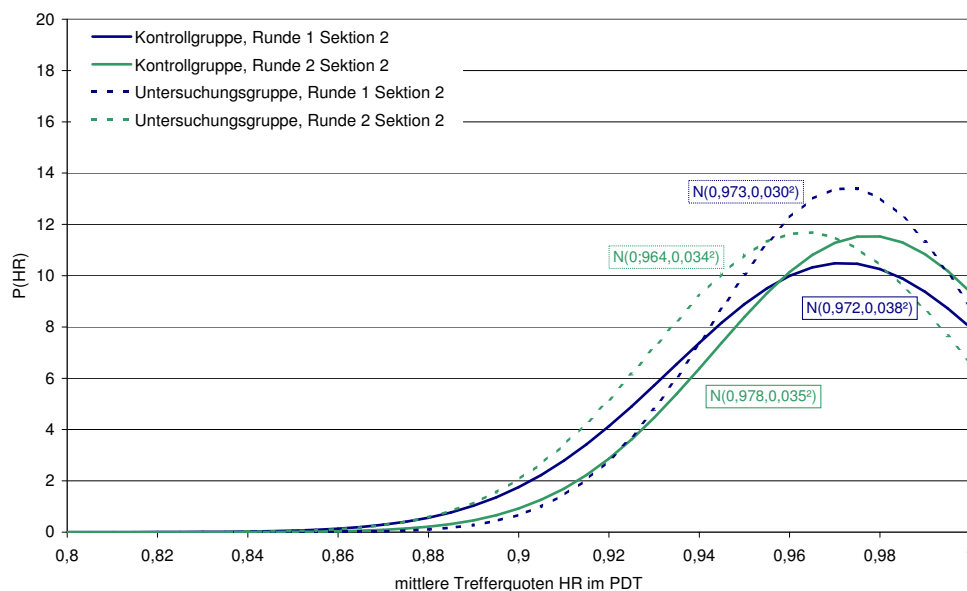


Abbildung I.6.: Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 2.

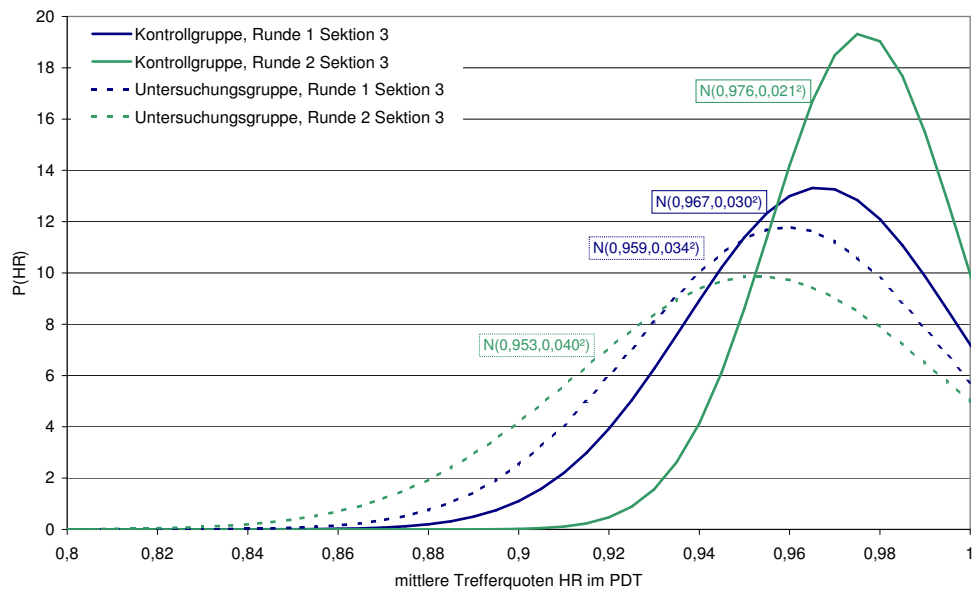


Abbildung I.7.: Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 3.

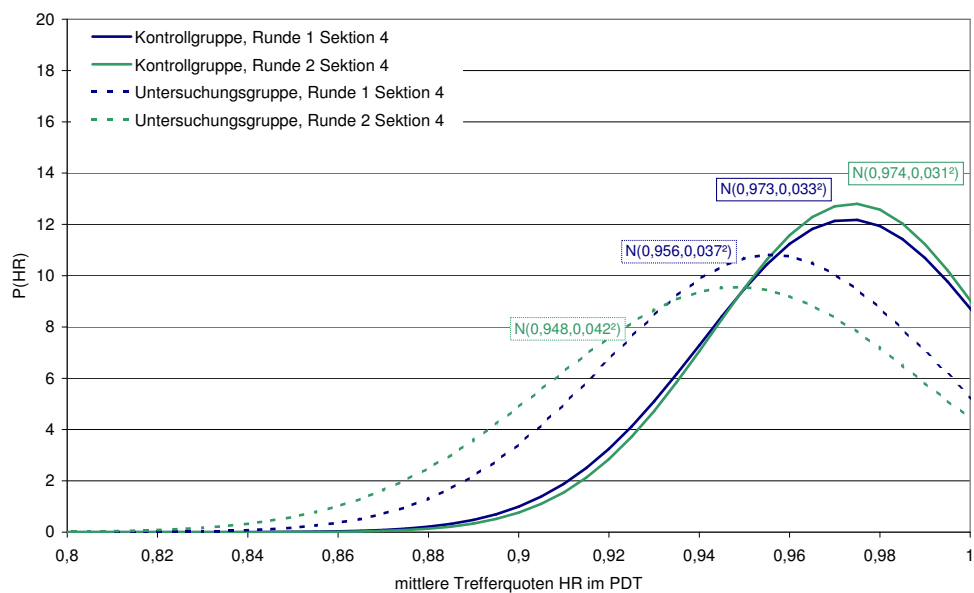


Abbildung I.8.: Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 4.

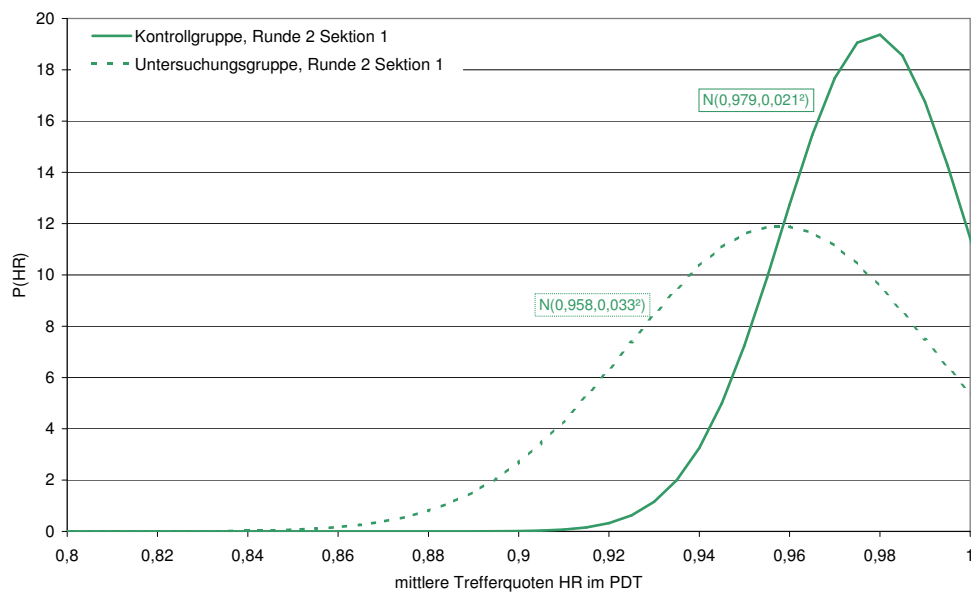


Abbildung I.9.: Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 1 der Runde 2.

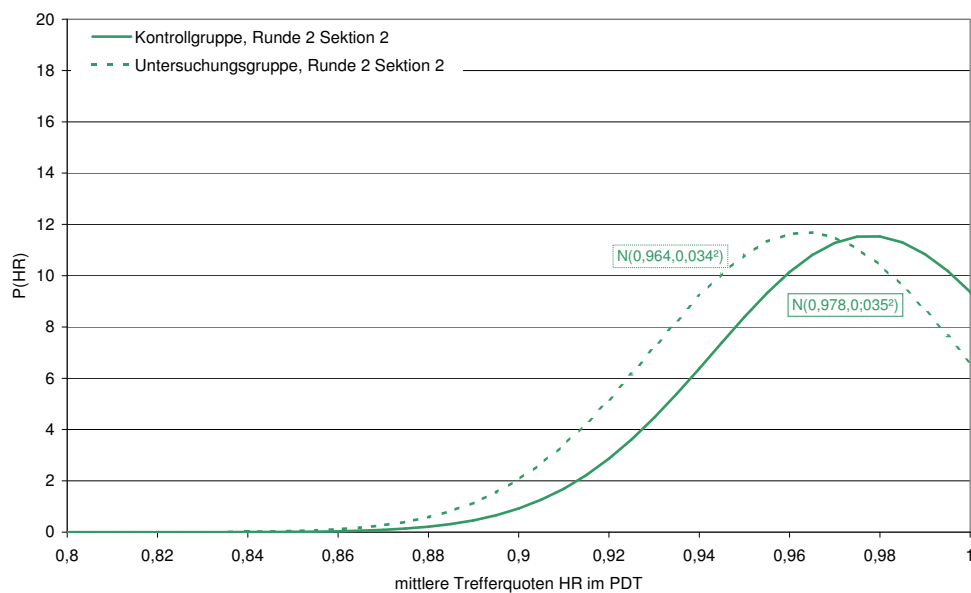


Abbildung I.10.: Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 2 der Runde 2

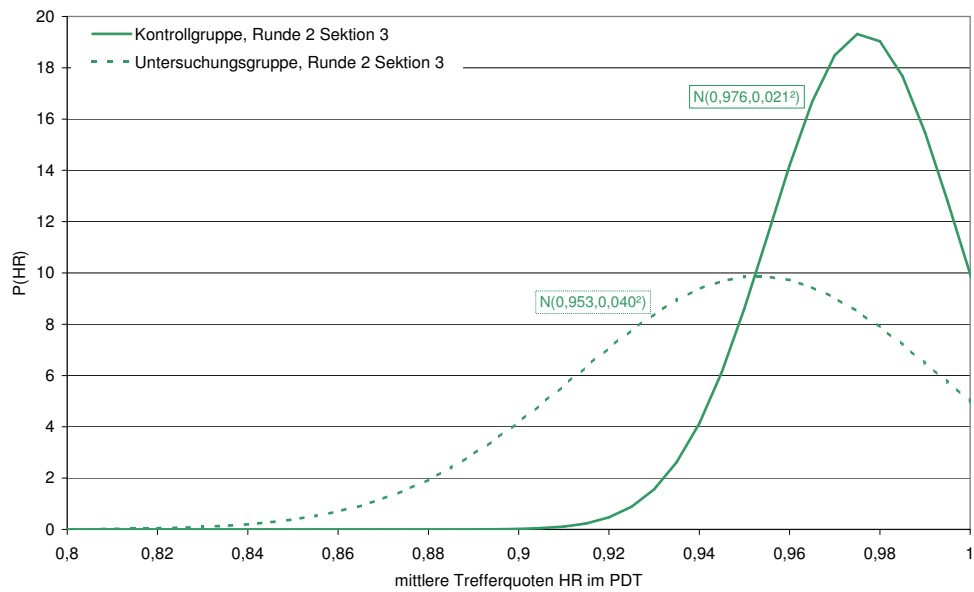


Abbildung I.11.: Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 3 der Runde 2

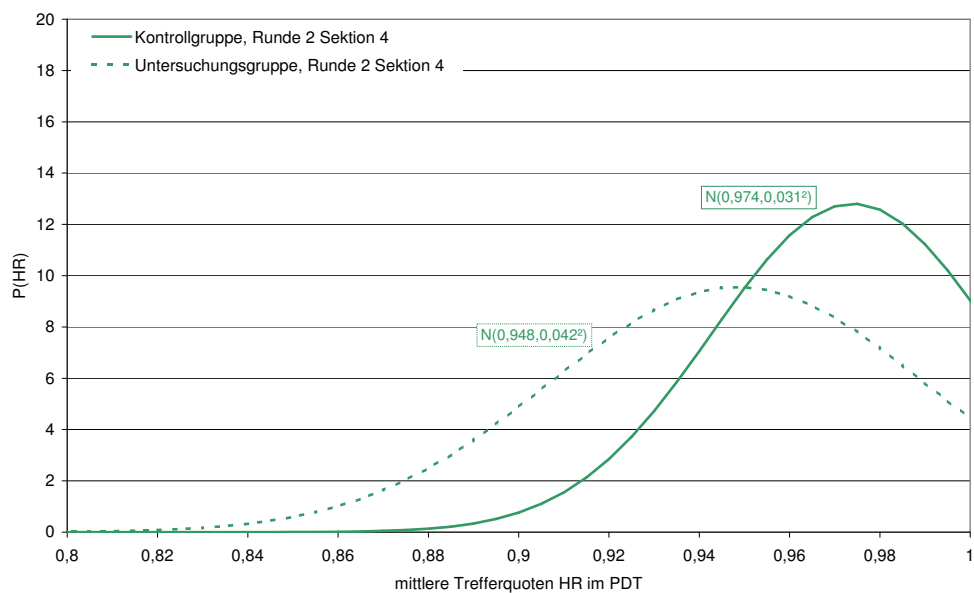


Abbildung I.12.: Theoretische Verteilung der Trefferquoten im PDT in Sektion 4 der Runde 2

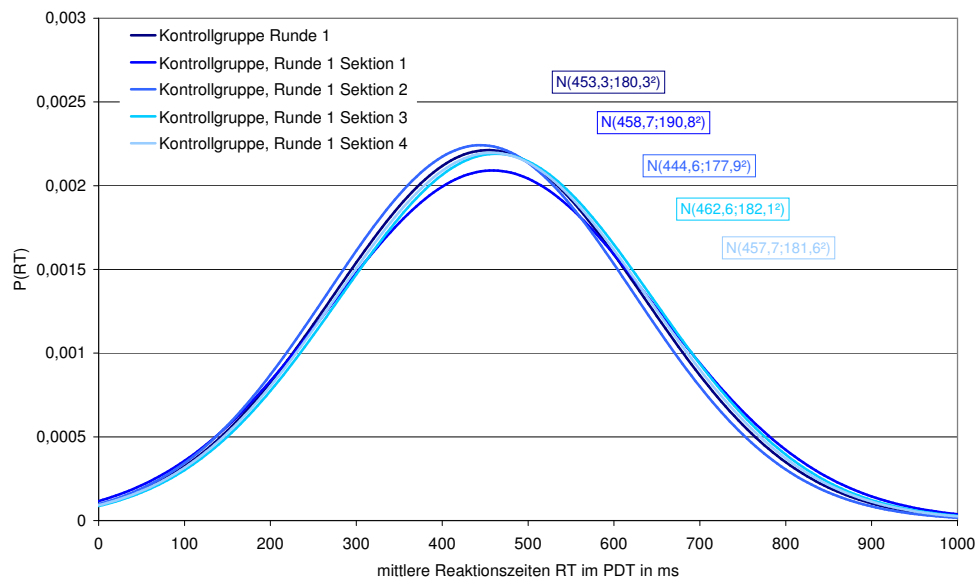


Abbildung I.13.: Theoretische Verteilung der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen über 6 $\frac{km}{h}$ der Kontrollgruppe in Runde 1.

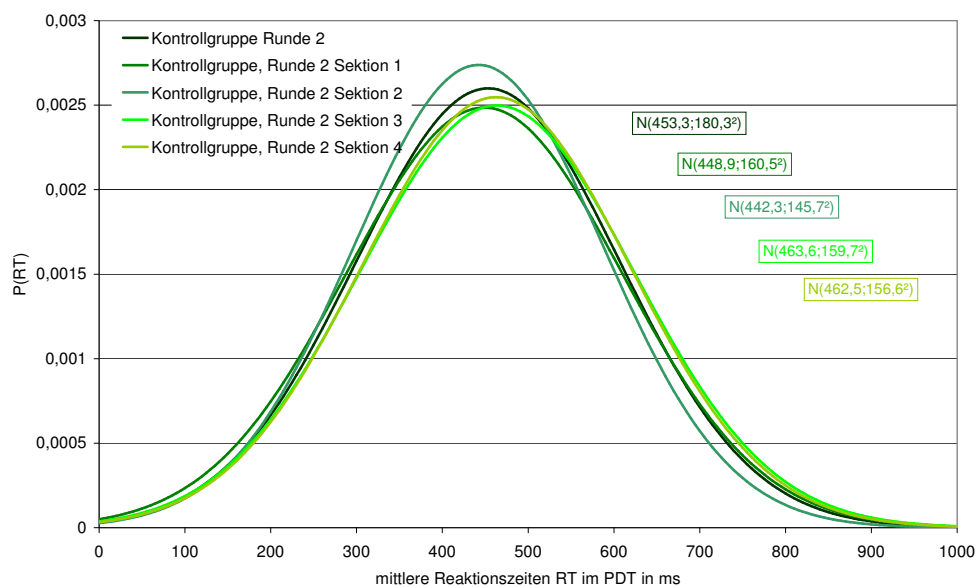


Abbildung I.14.: Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT der Kontrollgruppe in Runde 2.

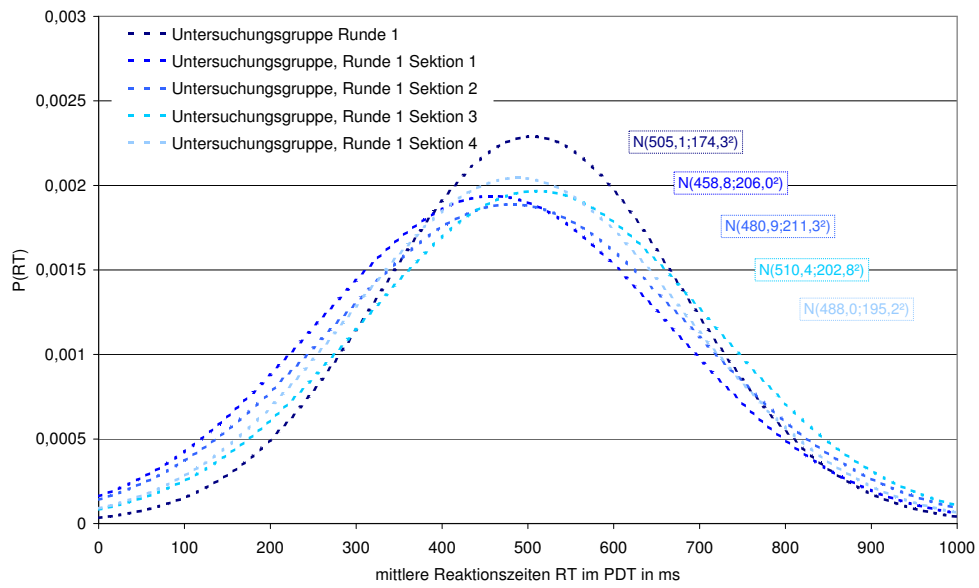


Abbildung I.15.: Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT der Untersuchungsgruppe in Runde 1.

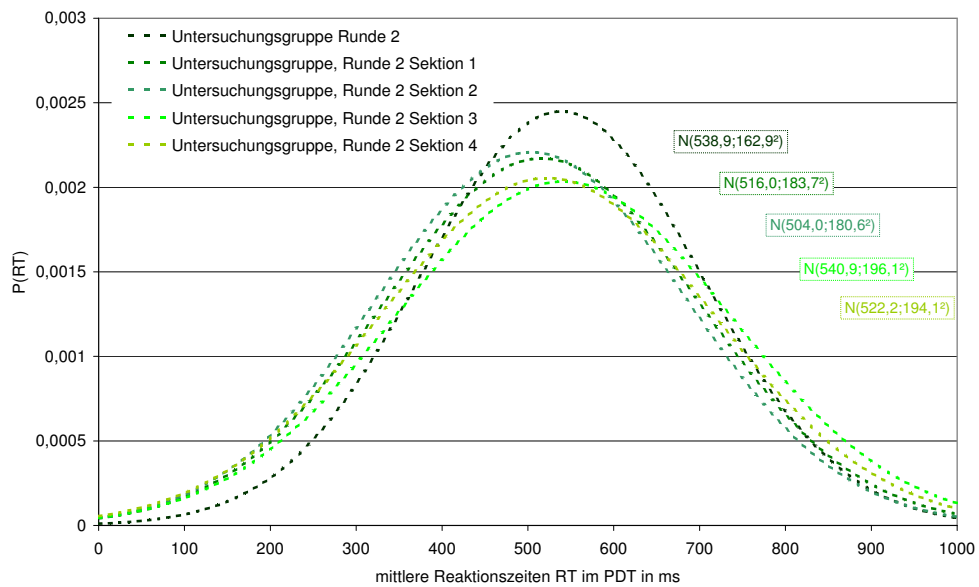


Abbildung I.16.: Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT der Untersuchungsgruppe in Runde 2.

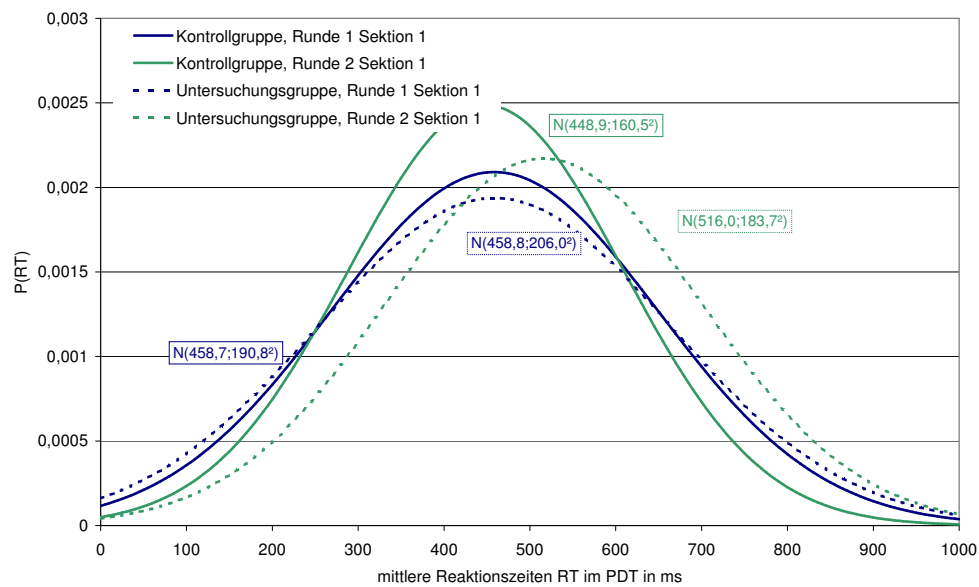


Abbildung I.17.: Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 1.

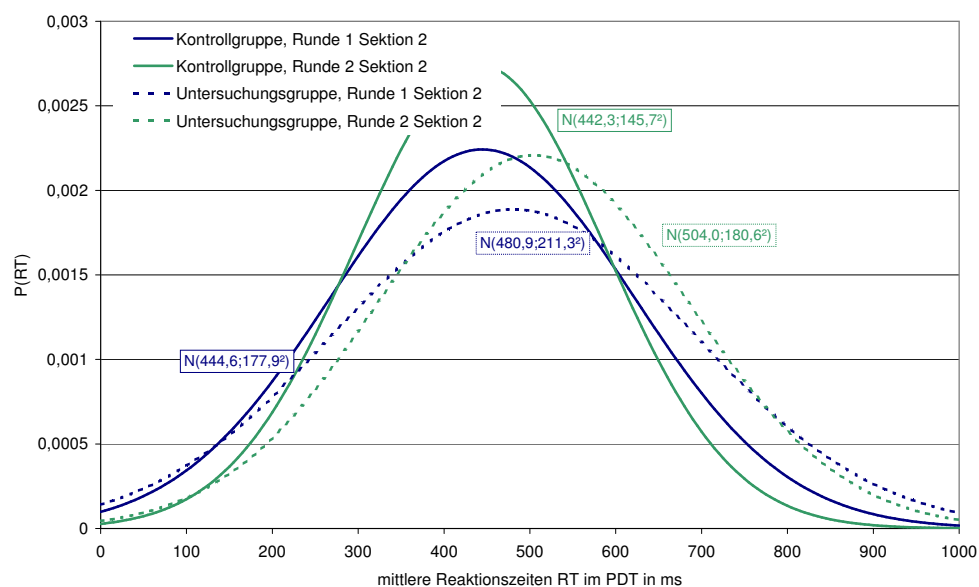


Abbildung I.18.: Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 2.

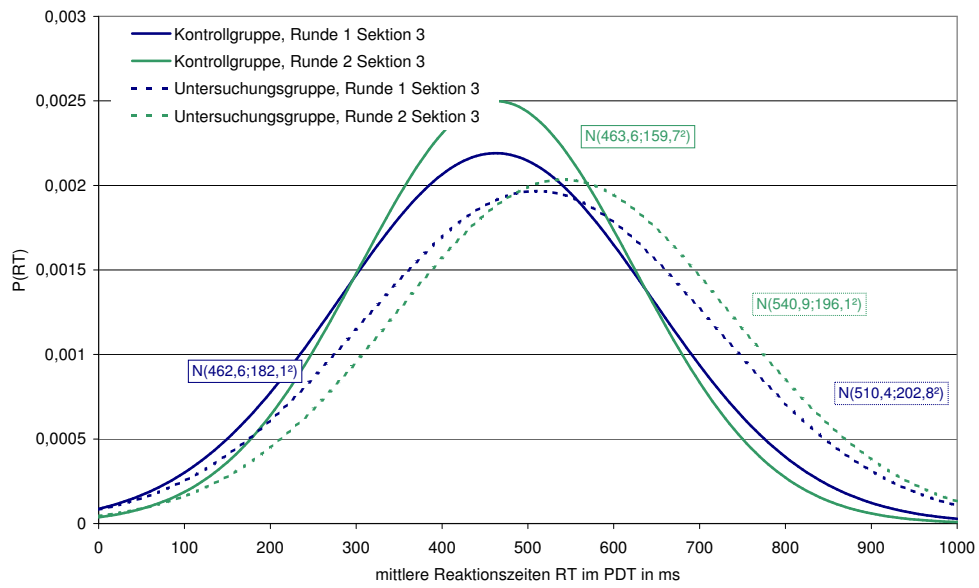


Abbildung I.19.: Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 3.

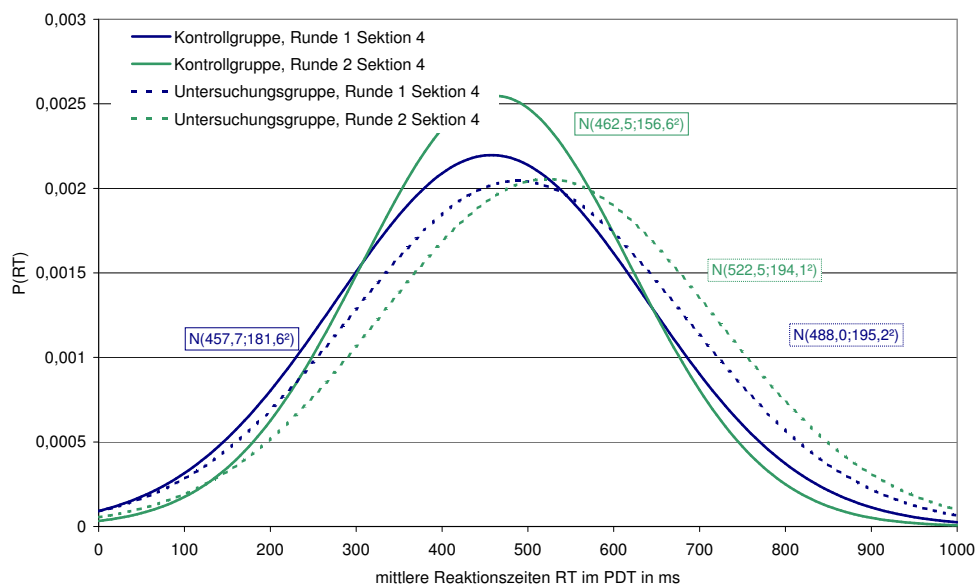


Abbildung I.20.: Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 4.

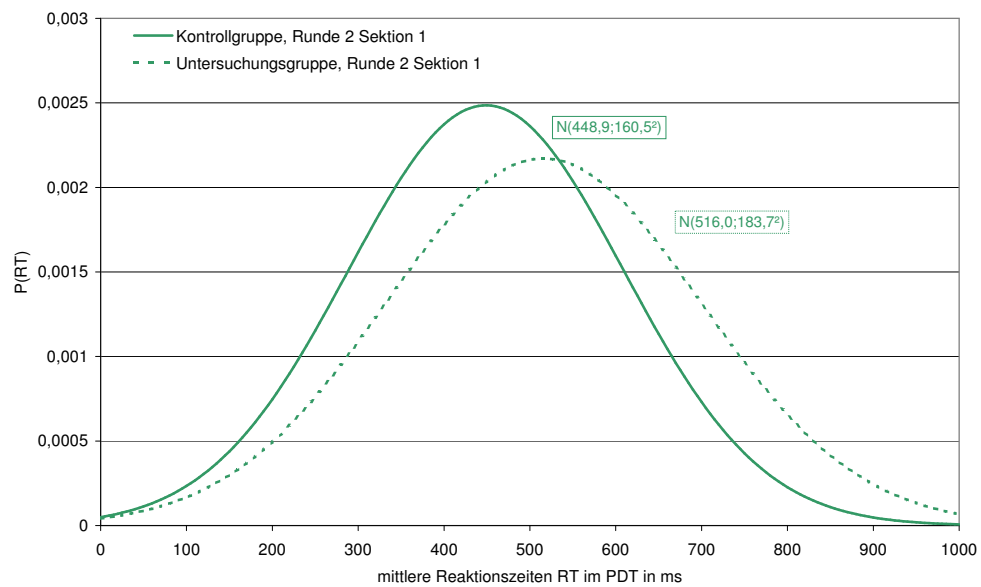


Abbildung I.21.: Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 1 der Runde 2.

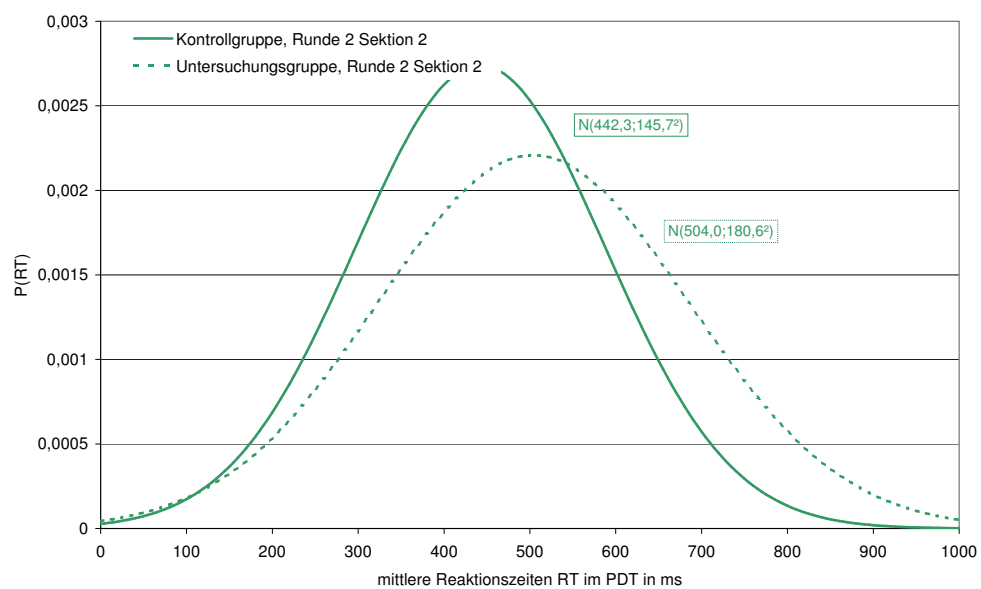


Abbildung I.22.: Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 2 der Runde 2.

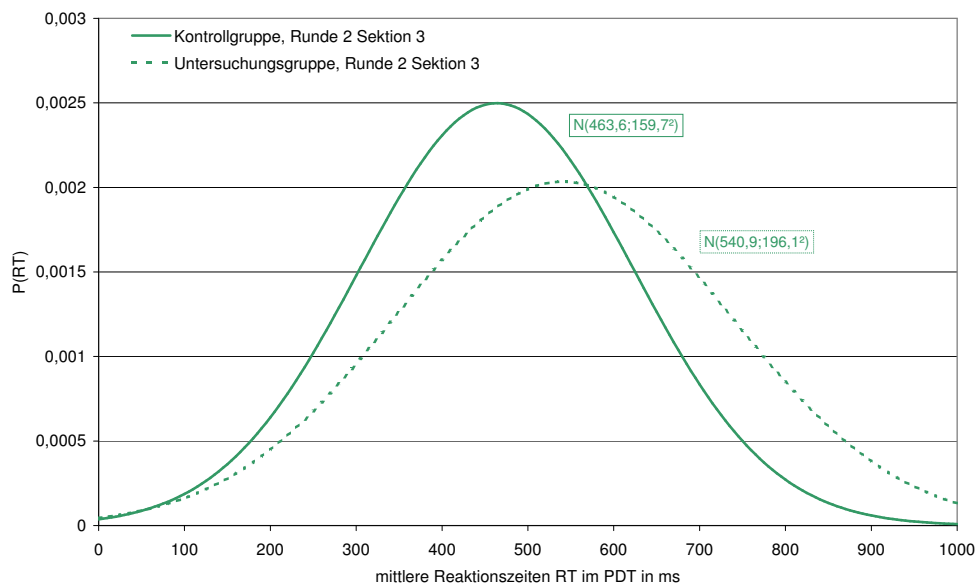


Abbildung I.23.: Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 3 der Runde 2.

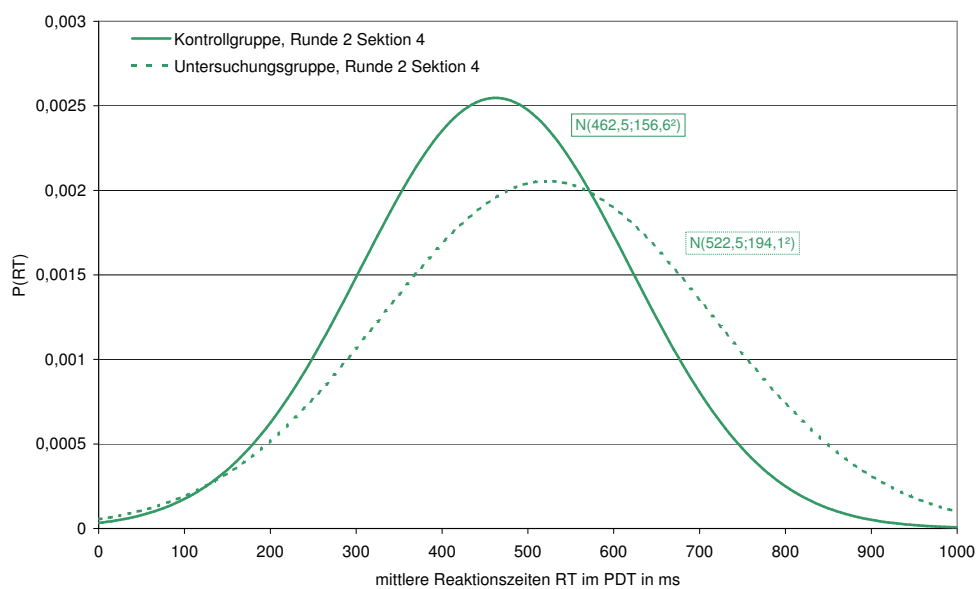


Abbildung I.24.: Theoretische Verteilung der Reaktionszeiten im PDT in Sektion 4 der Runde 2.

J. Lenkwinkelumkehrraten

J.1. Voraussetzungstests

Tabelle J.1.: Werte der Kolmogorow-Smirnow-Tests der mittleren Lenkwinkelumkehrraten von Kontroll- und Untersuchungsgruppe in den Runden und Sektionen.

	Alle Probanden			Kontrollgruppe			Untersuchungsgruppe		
	N	D	α	N	D	α	N	D	α
Runde 1 Gesamt	63	0,078	n. s.	29	0,157	n. s.	34	0,115	n. s.
Runde 1 Sektion 1	63	0,090	n. s.	29	0,119	n. s.	34	0,089	n. s.
Runde 1 Sektion 2	63	0,093	n. s.	29	0,109	n. s.	34	0,132	n. s.
Runde 1 Sektion 3	63	0,129	n. s.	29	0,187	n. s.	34	0,156	n. s.
Runde 1 Sektion 4	62	0,082	n. s.	28	0,163	n. s.	34	0,077	n. s.
Runde 2 Gesamt	64	0,099	n. s.	29	0,195	n. s.	35	0,177	n. s.
Runde 2 Sektion 1	64	0,100	n. s.	29	0,100	n. s.	35	0,140	n. s.
Runde 2 Sektion 2	64	0,079	n. s.	29	0,093	n. s.	35	0,076	n. s.
Runde 2 Sektion 3	64	0,105	n. s.	29	0,155	n. s.	35	0,092	n. s.
Runde 2 Sektion 4	64	0,097	n. s.	29	0,138	n. s.	35	0,092	n. s.